

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robototechniky – 354



Robotizované pracoviště montáže dvojkolí

Robotized Cell for Railway Wheelsets Assembly

Student:

Bc. Martin Korabečný

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Václav Krys, Ph.D.

Ostrava 2013

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra robototechniky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Martin Korabečný**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T013 Robotika
Téma: **Robotizované pracoviště montáže dvojkolí**
Robotized Cell for Railway Wheelsets Assembly

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte analýzu stávajících řešení montáže železničních dvojkolí nalisováním.
2. Navrhněte varianty řešení automatizovaného montážního pracoviště. Varianty rozpracujte do úrovně nutné pro jejich vzájemné porovnání.
3. Zvolte řešení pracoviště, které nejlépe splňuje zadané požadavky. Zpracujte detailní dispoziční řešení zvoleného pracoviště a specifikujte jeho jednotlivé komponenty. Dispozici pracoviště doložte ve formě výkresové dokumentace.
4. Proveďte principiální návrh koncového efektoru pro manipulaci s železničními koly. Návrh doplňte potřebnými výpočty a podrobným popisem technického řešení.
5. Proveďte technicko ekonomické zhodnocení dosažených výsledků.
6. Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu MS WORD a konstrukční řešení v CAD systému (podle pokynů vedoucího).

Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 2007. 48 s.

ČSN ISO 690 *Informace a dokumentace - Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů*. Praha: Český normalizační institut, 2010.

BURKOVIČ, J. *Navrhování robotizovaných montážních linek*. 1. vydání. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2008. 163 s. ISBN 978-80-248-1869-6.

BURKOVIČ, J. *Projektování a provoz RTP*. 1. vydání. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2004. 118 s. ISBN 80-248-0709-2.

PALKO, A., SMRČEK, J. *Robotika, Koncové efektory pre priemyslné a servisné roboty, Navrhovanie – Konštrukcia - Riešenia*. 1. vydání. Košice: TU v Košiciach, 2004. 274 s. ISBN 80-8073-218-3.

Prohlašuji, že

- jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.
- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezentačnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách) ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Krnově: 1. 5. 2013



Jméno a příjmení autora práce :

Bc. Martin Korabečný

Adresa trvalého pobytu diplomanta:

Albrechtická 94a Krnov, PSČ 794 01

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

KORABEČNÝ, M: Robotizované pracoviště montáže dvojkolí. Ostrava: Katedra robototechniky, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2013, 61 stran, Diplomová práce, vedoucí Ing. Václav Krys, Ph.D.

Diplomová práce se zabývá návrhem pracoviště robotizované montáže železničního dvojkolí při renovaci. V úvodu je provedena analýza současných způsobů montáže a navržených způsobů robotizované montáže dvojkolí. Z navržených variant je vybrána varianta s tříosým manipulačním robotem. Pro vybranou variantu je navrženo dispoziční řešení robotizovaného pracoviště a principiální návrh koncového efektoru. V technické zprávě je popsána funkce RTP, výpočty a technické parametry pracoviště. V závěrečné části je uvedeno technické a ekonomické hodnocení navržené varianty. Součástí diplomové práce je výkresová dokumentace vybraného řešení.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

KORABEČNÝ, M: Robotized cell for railway wheelsets assembly. Ostrava: Department of robotics, Faculty of Mechanical Engineering VŠB – Technical University of Ostrava, 2013, 61 pages, Diploma work, Mastermind Ing. Václav Krys, Ph.D.

The diploma thesis is engaged in proposal on robotic cell for railway wheelsets assembly at renovation. The current assembly methods and suggested ways of robotic wheelsets assembly are analysed at the beginning. The three axis manipulation robot option is chosen of the proposed variants. The disposition solution of robotic cell and the fundamental proposal of the end effector are proposed for the selected version. The RTP function, calculations and technical parameters of the workshop are described in the technical report. The technical and economical aspects of the suggested option are evaluated in the final part. The selected solution drawing documentation is the part of this diploma thesis.

Obsah

Seznam použitého značení	6
Úvod	9
1. Analýza stávajícího řešení montáže	10
1.1. Specifikace výrobku	10
1.2. Stávající řešení pro manipulaci portálovým jeřábem	11
1.3. Stávající zařízení pro automatizovanou manipulaci	13
1.4. Stávající postup renovace dvojkolí	14
1.5. Vyhodnocení stávajících řešení	14
1.6. Schéma stávajícího pracoviště	16
2 Varianty řešení robotizovaného pracoviště montáže	17
2.1. Požadavkový list robotizovaného pracoviště	17
2.2. Návrh variant řešení	18
2.2.1. Schéma navrhovaného řešení pracoviště – varianta č. 1	18
2.2.2. Schéma navrhovaného řešení pracoviště – varianta č. 2	22
2.2.3. Schéma navrhovaného řešení pracoviště – varianta č. 3	26
3. Multikriteriální hodnocení variant	30
4. Specifikace řešení zvoleného pracoviště	34
4.1. Technická specifikace stávajícího zařízení	35
4.2. Technická specifikace nakupovaného zařízení	38
4.3. Popis robotizovaného pracoviště	40
4.4. Časová studie pohybů a technologických operací	42
4.5. Návrh koncového efektoru	43
4.6. Předběžné konstrukční výpočty	45
4.6.1. Kontrola pohybového šroubu	45
4.6.2. Kontrola nosníku (ramene)	47
4.6.3. Kontrola synchronního servomotoru	48
4.6.4. Kontrola pera hřídele	52
5. Kapacitní propočty	53
6. Ekonomický rozpis	54
6.1. Pořizovací náklady strojů	54
6.2. Vývoj a režijní náklady	54
6.3. Mzdové náklady	54
6.4. Materiálové náklady na výrobek	55
6.5. Rozpis energií	56

6.6. Čistý roční zisk.....	57
6.7. Návratnost	57
7. Bezpečnost práce.....	58
8. Závěr	59

Seznam použitého značení

A_s	$[\text{mm}^2]$	Plocha průřezu závitů
a	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-2}]$	Zrychlení
D_C	[den]	Celkový počet dnů v roce
D_P	[den]	Počet pracovních dnů v roce
D_{SO}	[den]	Počet sobot v roce
D_{NE}	[den]	Počet nedělí v roce
D_{SV}	[den]	Počet placených svátků v roce
D_{55}	[%]	Daň
d	[mm]	Průměr
E	[MPa]	Modul pružnosti
F	[N]	Síla
g	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-2}]$	Gravitační zrychlení
H_{ef}	[hod]	Efektivně odpracované hodiny za směnu
I	[A]	Elektrický proud
I_{nf}	[%]	Inflace
i	[-]	Převodový poměr
J	$[\text{kg} \cdot \text{m}^2]$	Moment setrvačnosti
J_x	$[\text{mm}^4]$	Kvadratický moment průřezu
k	[-]	Koeficient
l	[m]	Vzdálenost
M_k	$[\text{N} \cdot \text{m}]$	Krouticí moment
m	[kg]	Hmotnost

N_{el}	[Kč]	Roční náklady elektrické energie
N_{fix}	[Kč]	Celkové fixní náklady
N_h	[Kč]	Hodinová mzda
N_j	[Kč]	Cena jednotky elektrické energie
N_m	[Kč]	Náklady na jeden výrobek
N_{mr}	[Kč]	Roční náklady
N_{rc}	[Kč]	Celkové náklady
N_r	[Kč]	Roční mzdové náklady
N_s	[Kč]	Mzdové náklady na jednu směnu
n	[ot ⁻¹]	Otáčky
P	[W]	Výkon
P_D	[-]	Počet pracovníků
P_{jc}	[kWh]	Spotřeba elektrické energie na jeden výrobek
P_r	[kWh]	Roční spotřeba elektrické energie
P_C	[kWh]	Celková spotřeba elektrické energie
p	[MPa]	Tlak
R_e	[MPa]	Mez kluzu
Q_{md}	[ks]	Objem výroby za den
Q_{mr}	[ks]	Objem výroby za rok
Q_{ms}	[ks]	Objem výroby za směnu
r	[m]	Poloměr
S	[m ²]	Plocha
s	[-]	Směnnost
T_r	[hod]	Počet pracovních hodin za rok

T_s	[hod]	Počet hodin v jedné směně
T_1	[min]	Seřízení stroje
T_2	[min]	Zadání práce
T_3	[min]	Osobní přestávky
T_4	[min]	Přestávky na jídlo
t	[sec]	Čas
t_k	[min]	Čas cyklu kontroly
U	[V]	Elektrické napětí
v	$[m \cdot s^{-1}]$	Rychlost
V_1	[Kč]	Prodejní cena
V_{rh}	[Kč]	Hrubý roční zisk
y_{max}	[mm]	Maximální průhyb
Z_+	[Kč]	Zisk před zdaněním
Z_{-55}	[Kč]	Zisk
$Z_{rč}$	[Kč]	Čistý roční zisk
β	[°]	Vrcholový úhel
σ	[MPa]	Napětí v tahu, tlaku nebo ohybu
ε	$[rad \cdot s^{-2}]$	Úhlové zrychlení
η	[%]	Účinnost
λ	[-]	Součinitel plnění norem
π	[-]	Ludolfovo číslo
τ	[MPa]	Napětí v krutu
ω	$[rad \cdot s^{-1}]$	Úhlová rychlost

Úvod

V důsledku stále vzrůstajících požadavků dopravců provozujícím kolejovou dopravu na kvalitu a spolehlivost dodávaných součástí musí výrobci tuto kvalitu nabídnout a garantovat.

Možností jak se s tímto tlakem vyrovnat je používání vyššího stupně automatizace a robotizace stávajících výrobních procesů.

Ve své diplomové práci se zabývám návrhem robotizované montáže dvojkolí při renovaci železničních dvojkolí, analýzou možných uspořádání pracovišť, technickým řešením a jeho přínosem pro danou výrobu. Navržené řešení manipulace s koly, použitím robotizovaného manipulátoru a koncového efektoru, nahradí ručně řízený portálový jeřáb s manipulačními háky a kleštěmi.

Svou rychlostí, přesností a automatickým řízením urychlí proces montáže dvojkolí a současně defektoskopickou kontrolu náprav.

V diplomové práci jsou zohledněny vlastní zkušenosti z konstrukce jednoúčelových výrobních a měřících přípravků ve firmě Krnovské opravny a strojírny s.r.o. a znalosti dosažené studiem.

1. Analýza stávajícího řešení montáže

1.1. Specifikace výrobku

Dvojkolí železničního vozu patří k nejdůležitějším částem železničního vozidla. Zajišťuje nesení a vedení vozidla, soustřeďují se na něj veškeré síly způsobené tíhou vozidla a jeho nákladu a síly způsobené vedením vozidla v příčném i podélném směru.

Železniční dvojkolí se skládá ze dvou kol nalisovaných na nápravu. Náprava je výkovek délky 2156 mm o hmotnosti 335 kg. Má válcovitý tvar s odstupňovanými průměry podle jejich funkce a namáhání. Součástí dvojkolí jsou také desky a matice, které slouží pro axiální zajištění a součásti pomocných pohonů, brzdové výstroje a snímačů.

Kola jsou výkovky o průměru 960 mm a hmotnosti 381 kg, které mají po obvodu zhotovený jízdní profil. Jízdní profil kola má tvar výseku rotačního hyperboloidu a soustavy komolých kuželů tak, aby se průměr kola směrem k vnějšímu okraji zmenšoval. Tento tvar kol zajišťuje stabilní vedení dvojkolí po kolejnicích i hladký průjezd obloukem. Pokud se dvojkolí posune za jízdy od osy koleje v příčném směru, začne se kolo vzdálenější od osy koleje odvalovat po vnějším průměru. Ujede proto za jednu otáčku delší vzdálenost než druhé kolo. V ideálním případě se dvojkolí staví v oblouku radiálně a projede jím bez smyku. Naopak v přímé koleji pak tato vlastnost způsobuje sinusový pohyb dvojkolí. Pokud je pojezd vozidla nevhodně konstruován vzniká netlumené kmitání v příčném směru. Stabilizace kolejových vozidel během jízdy je pak velmi důležitá zejména při provozu moderních rychlovlaků typu TGV, Pendolino či Šinkansen.

V kolejovém vozidle je dvojkolí uloženo pomocí valivých ložisek v ložiskových skříních. Dvojkolí zprostředkovává také odvod energie vzniklé při brzdění a v případě tažných vozidel působí také účinky tažné síly. Vzhledem k tomu, že se jedná o síly dynamické s proměnlivou amplitudou i frekvencí a síly rázové, lze konstatovat, že je mimořádně namáhanou součástí, která nesmí selhat po celou dobu své životnosti. Z těchto důvodů je při renovaci dvojkolí kladen velký důraz na nedestruktivní zkoušky součástí dvojkolí a dodržení technologie nalisování kol na nápravu.

1.2. Stávající řešení pro manipulaci portálovým jeřábem

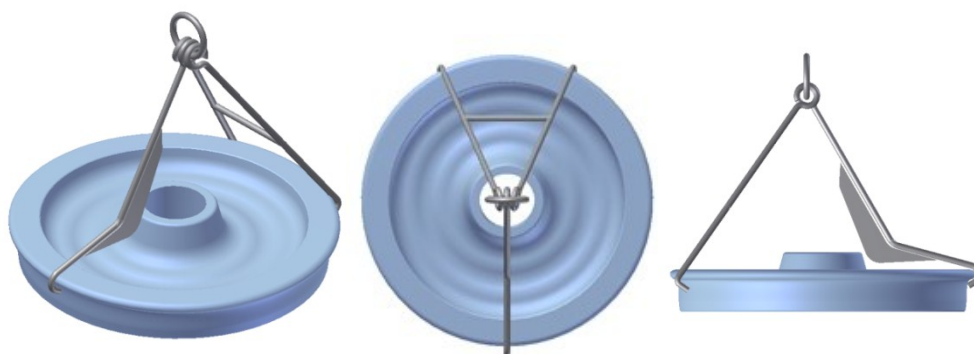
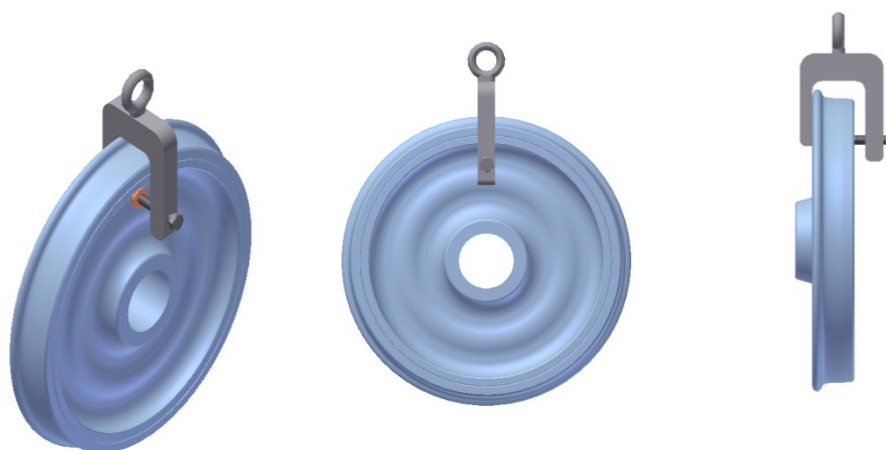
Manipulace s kolem železničního dvojkolí (dále kolo) má v daném technologickém procesu několik fází, při kterých se poloha a orientace kola mění. Vzhledem k hmotnosti a velikosti kola je velké nebezpečí poškození obvodového jízdního profilu při této manipulaci. Otvor kola má přesné parametry určené k nalisování kola na nápravu, nelze ho tedy použít pro upnutí při manipulaci. Možnosti upnutí kola jsou tak velice omezené pouze na neopracované boky kola. Všechny styčné plochy manipulačních prostředků a boků kol jsou chráněny gumovými nebo měděnými návlaky, které se ovšem rychle opotřebí a hrozí tak vznik otlaků, které mohou kolo poškodit a tak znehodnotit.



Obr. 1 Přepavní palety s koly

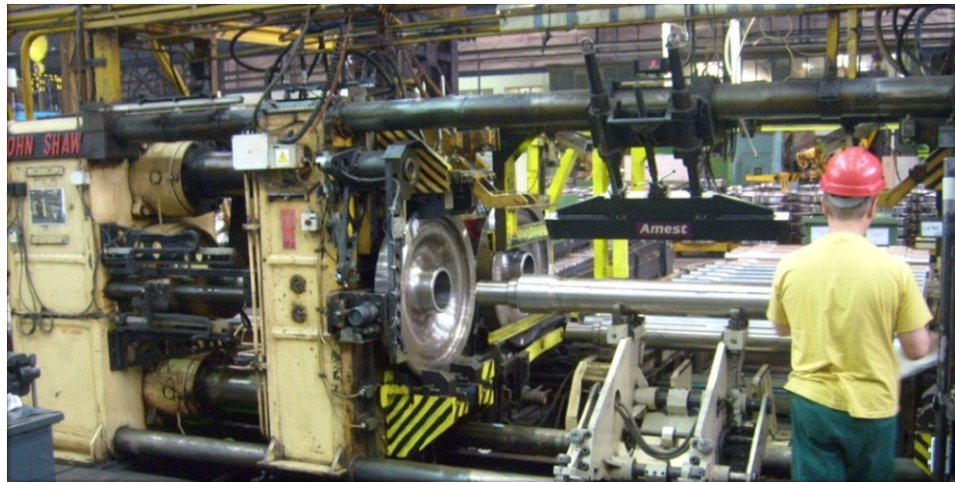
Při odběru kola z dodávané přepravní palety (Obr. 1) se zachovává horizontální poloha kola, pro tento účel se používají manipulační háky (Obr. 2). Důvodem je zamezení možnosti styku kol, které by nastalo při otáčení kola přímo na přepravní paletě.

Dále je nutno bezpečně otočit kolo do vertikální polohy pomocí háku, který je zajištěn šroubem (Obr. 3). Vlastní nasazení kol na nápravu je prováděno manipulačními kleštěmi (Obr. 4). Jednotlivé manipulační prostředky jsou střídavě nasazeny na portálovém manuálně ovládaném jeřábu.

**Obr. 2 Manipulační háky****Obr. 3 Manipulační hák****Obr. 4 Manipulační kleště**

1.3. Stávající zařízení pro automatizovanou manipulaci

Firma Bonatrans používá k dopravě kol do hydraulického lisu dráhu s nakloněnou rovinou, po které se kola odvalují. Uchycení kola, nasazení na nápravu a nalisování provádí čelisti upínacího zařízení lisu (Obr. 5). Zakládání kol do dráhy s nakloněnou rovinou je pomocí upínacích kleští a portálového jeřábu. Odebírání kol z přepravní palety a následné otáčení do vertikální polohy není zapotřebí, protože firma Bonatrans je také výrobcem nových kol a obrobená kola tak přemísťuje ve vertikální poloze.



Obr. 5 Nasunutí kol na nápravu v hydraulickém lisu

Dalším způsobem manipulace a také nalisování kol je pomocí manipulátoru, který tuhostí své konstrukce umožňuje přepravu ze zásobníku kol a také nalisování (Obr. 6) bez použití hydraulického lisu. Toto řešení pochází od výrobce železničních dvojkolí z TV pořadu „How it's made“.



Obr. 6 Manipulace, nasunutí a lisování kol manipulátorem

1.4. Stávající postup renovace dvojkolí

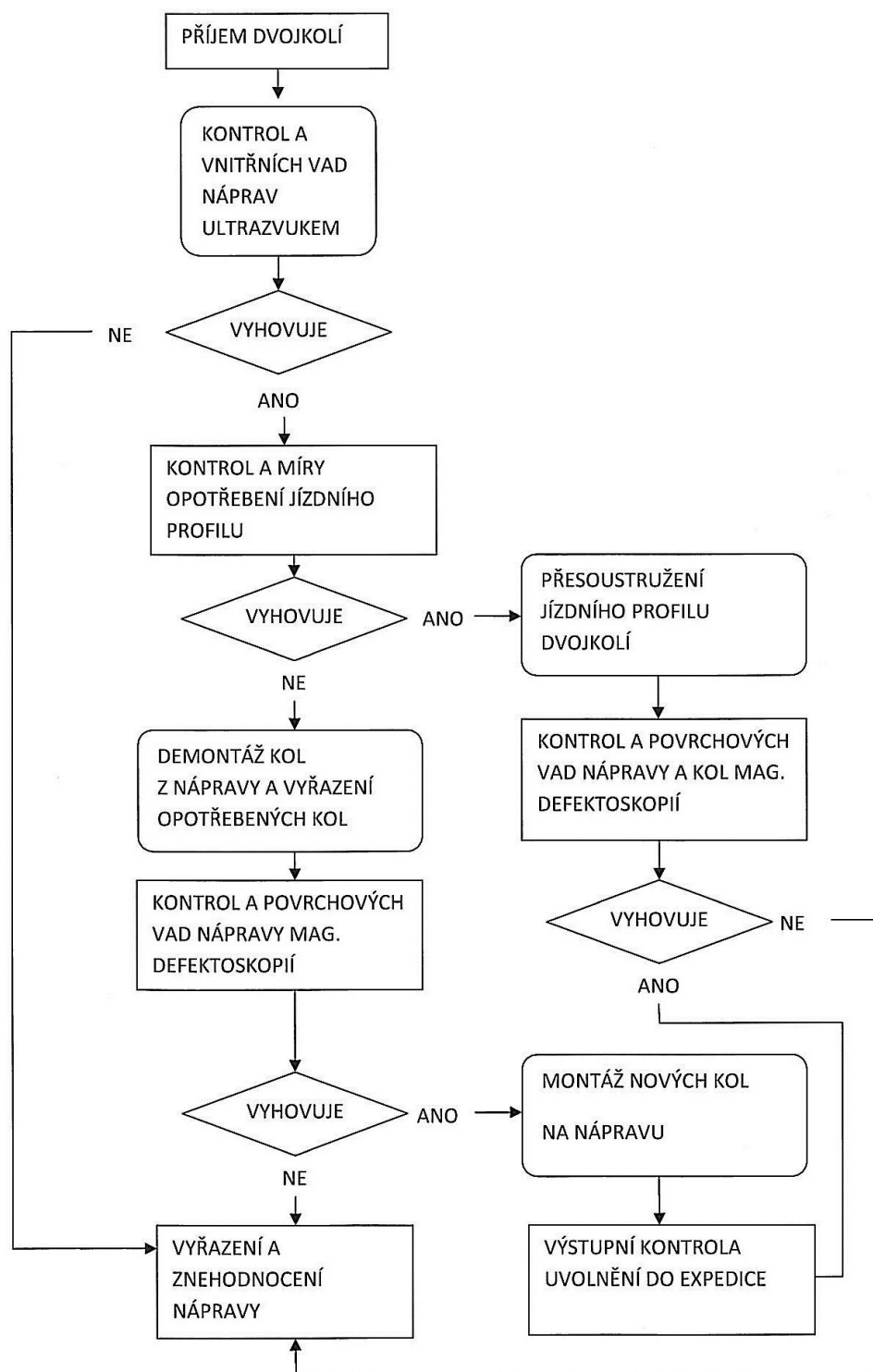
- 1) První operací je vstupní kontrola dvojkolí na vnitřní vady ultrazvukovým měřicím přístrojem.
- 2) U dvojkolí bez vnitřních vad je změřen průměr jízdního profilu kola. Dvojkolí, která svým rozměrem neklesla pod míru danou normou, lze renovovat přesoustružením jízdního profilu.
- 3) Dvojkolí, opotřebené pod míru danou normou, je demontováno rozlisováním a opotřebená kola jsou vyřazena.
- 4) Náprava je přemístěna portálovým jeřábem na krokový řetězový dopravník.
- 5) Z dopravníku je portálovým robotem ZP-7 přemístěna do zařízení pro defektoskopickou kontrolu náprav a zpět.
- 6) Po kontrole jsou na nápravu bez povrchových vad namontována nalisováním nová kola. Tato operace je prováděna pomocí manipulačních prostředků manuálně řízeným portálovým jeřábem.
- 7) Po výstupní kontrole jsou dvojkolí expedována zákazníkovi.

1.5. Vyhodnocení stávajících řešení

- 1) Řešení montáže dvojkolí v naší společnosti je s vysokým podílem ruční práce a výsledky kvality montáže odpovídají kvalitě a zkušenostem montážních dělníků. Kapacita pracoviště je určena dobou magnetoskopické kontroly nápravy a doby pro nasazení kol na nápravu s transportem dvojkolí do hydraulického lisu pomocí portálového jeřábu.
- 2) Stávající řešení montáže automatizovanou manipulací u výrobců nových dvojkolí. Nasazení a nalisování kol za dobu pod 5 minut je dosaženo investicí do speciálních jednoúčelových strojů schopných kolo uchopit a nalisovat v jedné operaci. Výhodou výrobce je také poloha kol, která po obrobení k montáži transportují ve vertikální poloze. Stávající řešení automatizované montáže neodpovídá potřebám naší společnosti. Kapacita těchto řešení nemůže být využita z důvodu operace defektoskopické kontroly, která při použití dvou defektoskopických pracovišť bude 15 minut.

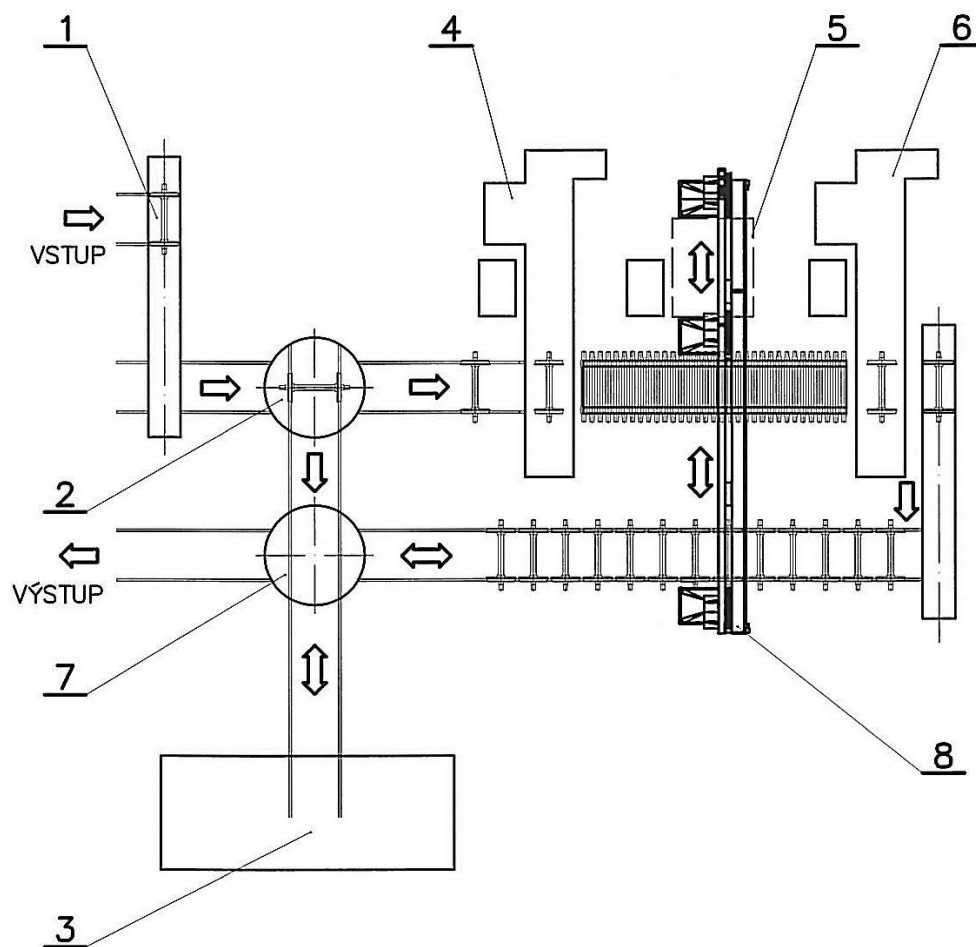
Z těchto důvodů je nutné vypracovat řešení, které splňuje specifické požadavky renovace opotřebených dvojkolí.

VÝVOJOVÝ DIAGRAM PROCESU



Obr. 7 Vývojový diagram procesu

1.6. Schéma stávajícího pracoviště



Obr. 8 Stávající dispozice strojů

Legenda:

- 1 - vstupní kontrola
- 2 - kontrola rozměru jízdního profilu kola
- 3 - renovace jízdního profilu kola
- 4 - demontáž dvojkolí (hydraulický lis CDR500/ELC7.3)
- 5 - magnetoskopická kontrola
- 6 - montáž dvojkolí (hydraulický lis CDR500/ELC7.3)
- 7 - výstupní kontrola
- 8 - dvouosý portálový manipulátor ZP-7

2 Varianty řešení robotizovaného pracoviště montáže

Důvodem ke vzniku robotizovaného pracoviště byla potřeba řešení nedostatečné manipulační kapacity a přesnosti stávajícího portálového jeřábu. Ten slouží k výměně kontrolovaných náprav na pracovištích defektoskopie a k manipulaci s dvojkolím, nápravou a koly při demontáži i montáži dvojkolí.

Pro možnost porovnání jsem navrhl tři varianty řešení robotizovaného pracoviště. Specifikace požadavků na nové pracoviště je uvedena v požadavkovém listu.

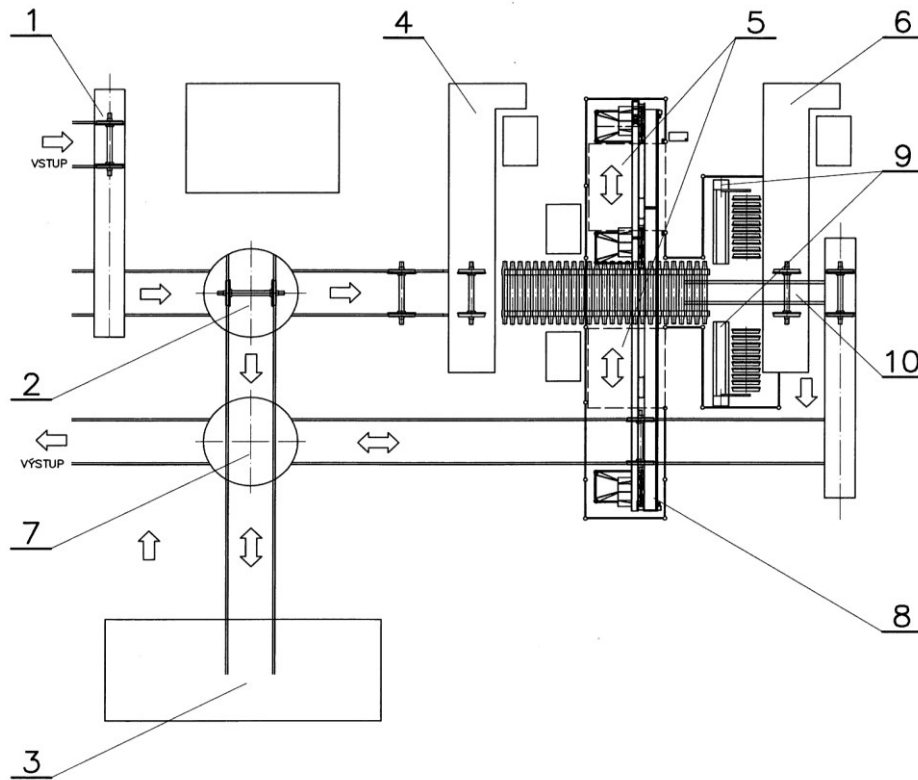
2.1. Požadavkový list robotizovaného pracoviště

- 1) Automatizovaná manipulace s kolem o průměru 920 mm (381 kg)
- 2) Automatizovaná manipulace s nápravou (335 kg) a dvojkolím (1 104 kg)
- 3) Automatizovaný odběr kola z přepravní nebo speciální palety
- 4) Bezpečné polohování kola z horizontální do vertikální polohy
- 5) Upnutí kola, které nepoškozuje plochy jízdního profilu nebo otvoru
- 6) Vystředění kola mezi upínacími čelistmi
- 7) Zvýšení kapacity montážního pracoviště ze 14 na 28 dvojkolí za směnu
- 8) Návratnost investice do tří let.
- 9) Pracoviště montáže integrovat do stávajících dispozic výrobní haly
- 10) Bezpečné upnutí kola při výpadku energie a další prvky bezpečnosti práce

2.2. Návrh variant řešení

2.2.1. Schéma navrhovaného řešení pracoviště – varianta č. 1

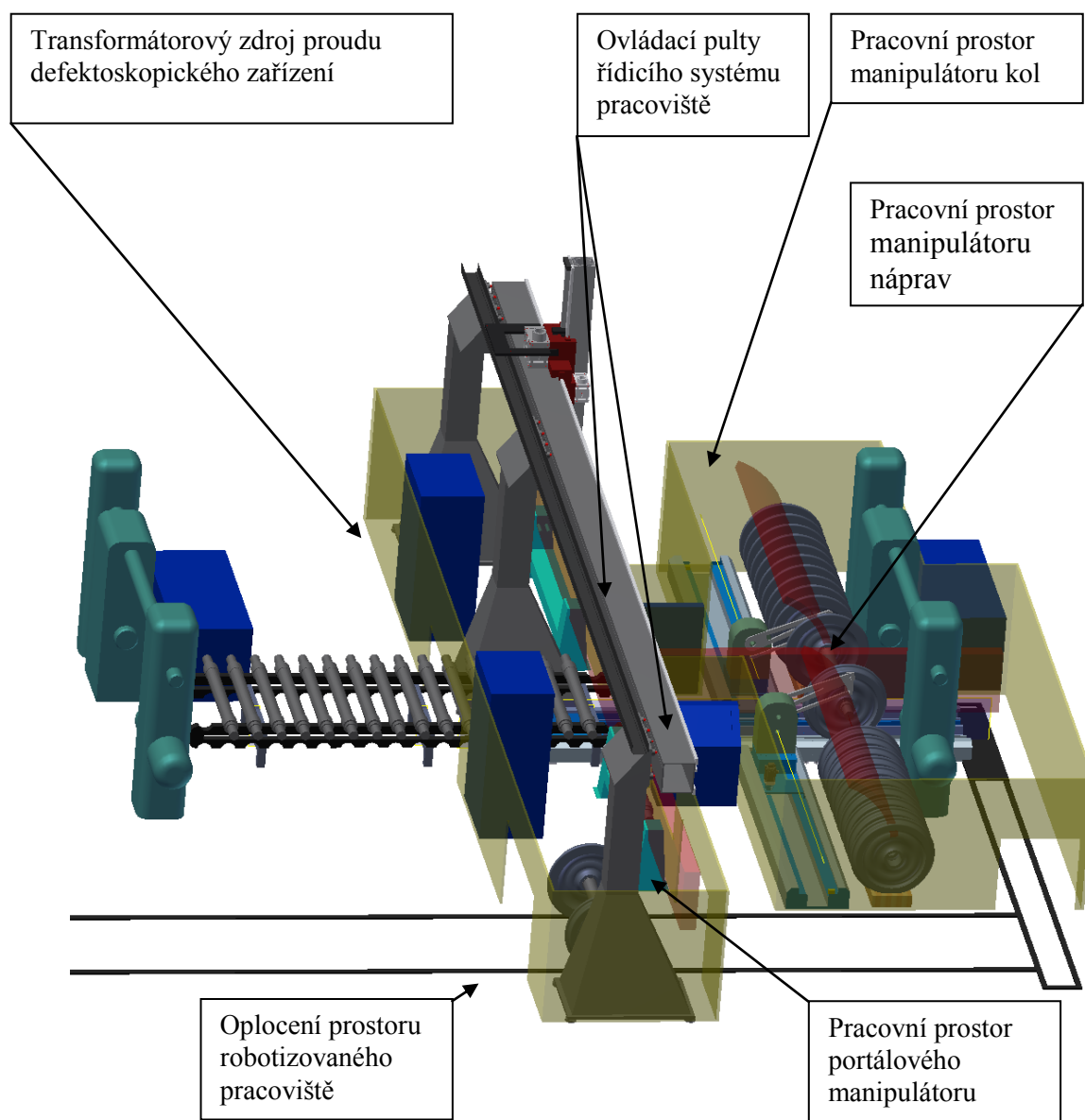
Pracoviště je vybaveno dvouosým portálovým robotem a třemi lineárními dopravníky spolupracujícími s krokovacím dopravníkem náprav na montáži dvojkolí. Kola je nutno přeskládat z přepravní palety do zakladače kol.



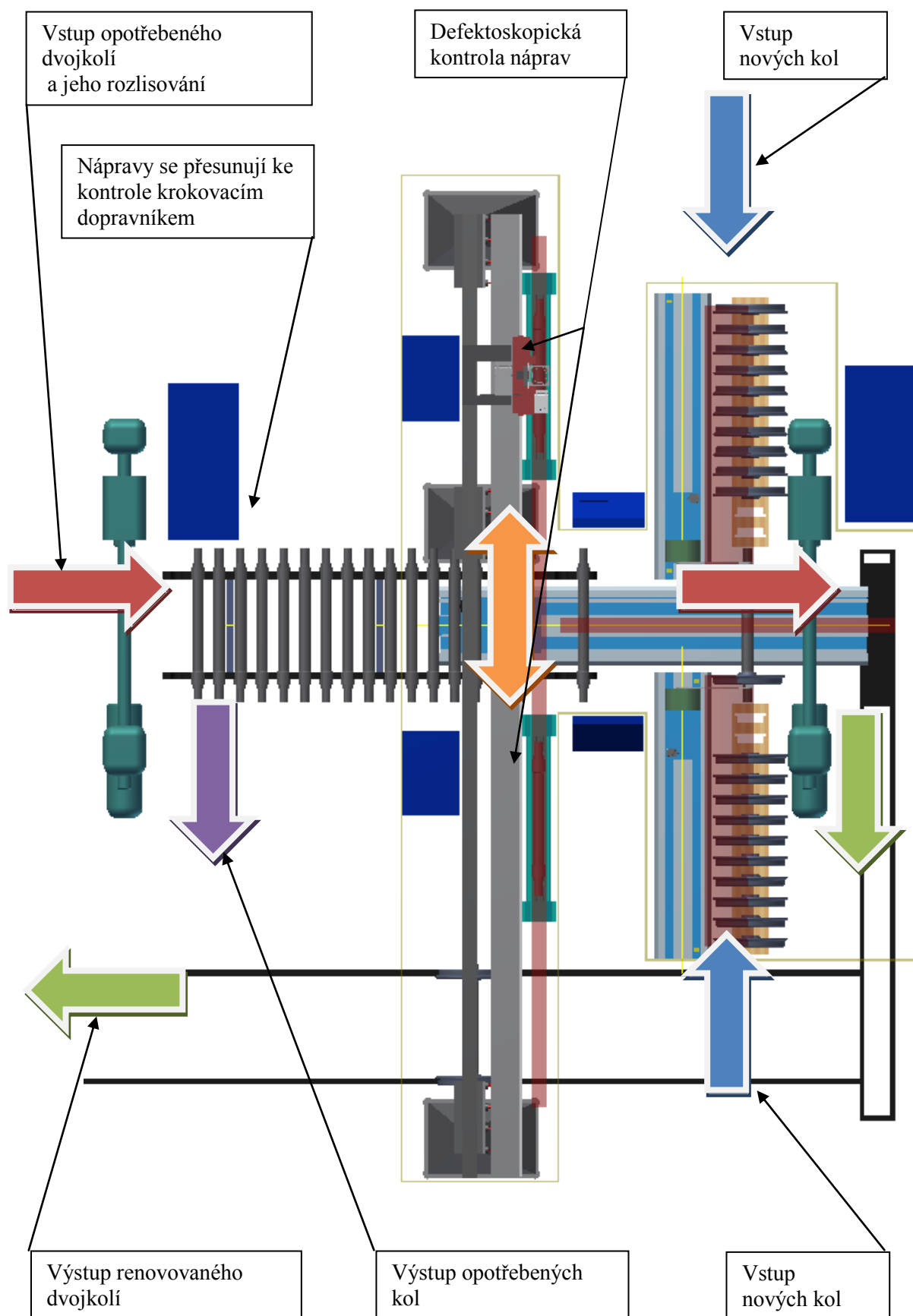
Obr. 9 Dispozice strojů - varianta č. 1

Legenda:

- 1 - vstupní kontrola
- 2 - kontrola rozměru jízdního profilu kola
- 3 - renovace jízdního profilu kola
- 4 - demontáž dvojkolí (hydraulický lis CDR500/ELC7.3)
- 5 - magnetoskopická kontrola
- 6 - montáž dvojkolí (hydraulický lis CDR500/ELC7.3)
- 7 - výstupní kontrola
- 8 - dvouosý portálový manipulátor ZP-7
- 9 - zásobníky nových kol
- 10 - nalisování kol na nápravu

Vizualizace navrhovaného pracoviště – varianta č. 1**Obr. 10 Vizualizace pracoviště - varianta č. 1**

Vizualizace materiálových toků – varianta č. 1



Obr. 11 Materiálové toky - varianta č. 1

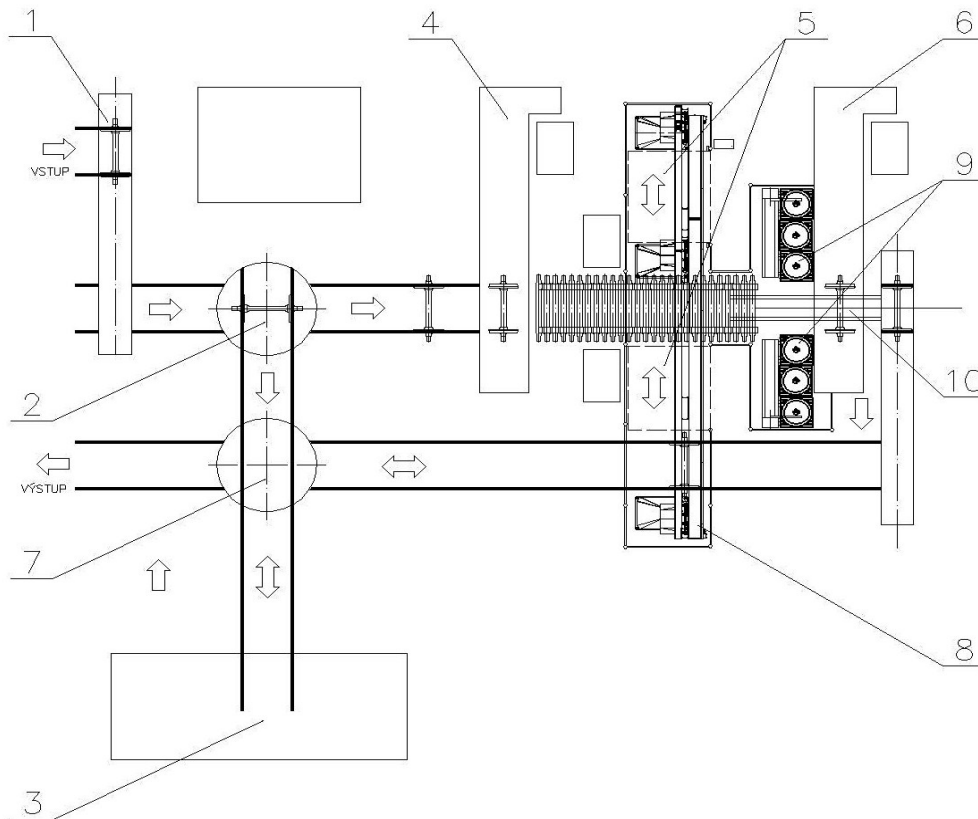
Technologický postup montáže dvojkolí – varianta č. 1

Krok:	Popis:	Vizualizace použitého zařízení:
1	Demontovaná náprava se uloží na krokovací dopravník, kterým postupuje do pracovního prostoru dvouosého portálového manipulátoru ZP-7 a poté k místu odběru.	
2	Dvouosý portálový manipulátor ZP-7 přepravuje nápravu na zařízení pro defektoskopickou kontrolu a zpět pomocí efektoru pro manipulaci s nápravou.	
3	Z krokového dopravníku odebírá manipulátor náprav, který je umístěn na lineárním dopravníku fa. Motoman (TSL 2000SD L = 6000), nápravu a zajíždí s ním do polohy pro nasazení kol, poté do lisu a na závěr dvojkolí ukládá na kolejiště.	
4	Nová kola jsou z přepravní palety přeskládána pomocí manipulačních prostředků a portálového jeřábu do zakladače kol.	
5	Kola jsou ze zakladače kol odebírána efektozem, který je nasazen na ramenech s rotačním pohybem. Nosná skříň s převodovkou je nasazena na lineární dopravník fa. Motoman (TSL 1000SD L=3150). Kolo je přemístěno do polohy pro nasazení kol a nasunuto na nápravu.	

Tab. 1 Technologický postup - varianta č. 1

2.2.2. Schéma navrhovaného řešení pracoviště – varianta č. 2

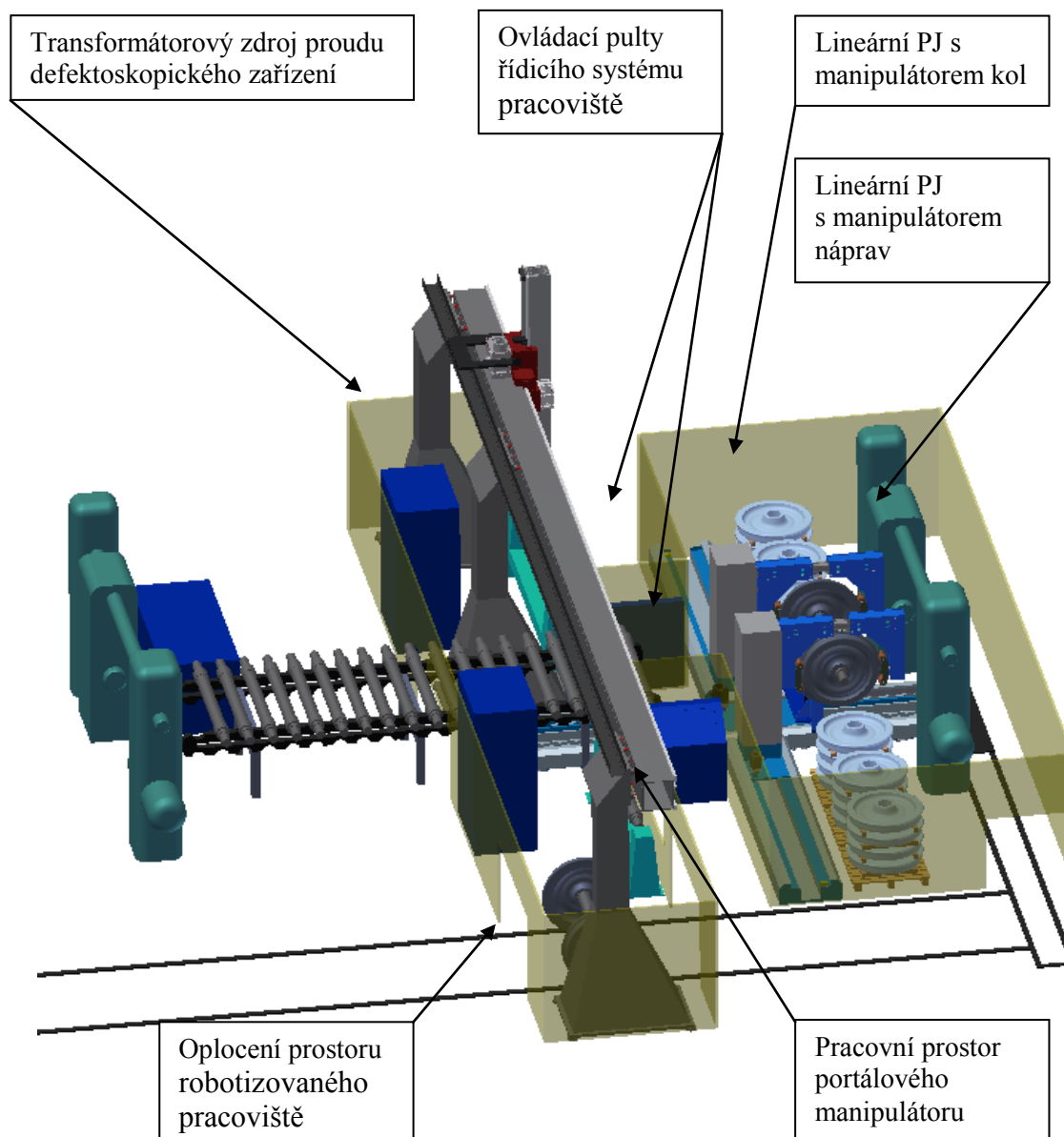
Pracoviště je vybaveno dvouosým portálovým robotem a lineárním dopravníkem pro manipulaci s nápravou spolupracujícím s krokovacím dopravníkem náprav na montáži dvojkolí. Dva lineární dopravníky s efektory kol odebírají kola přímo z přepravní palety.



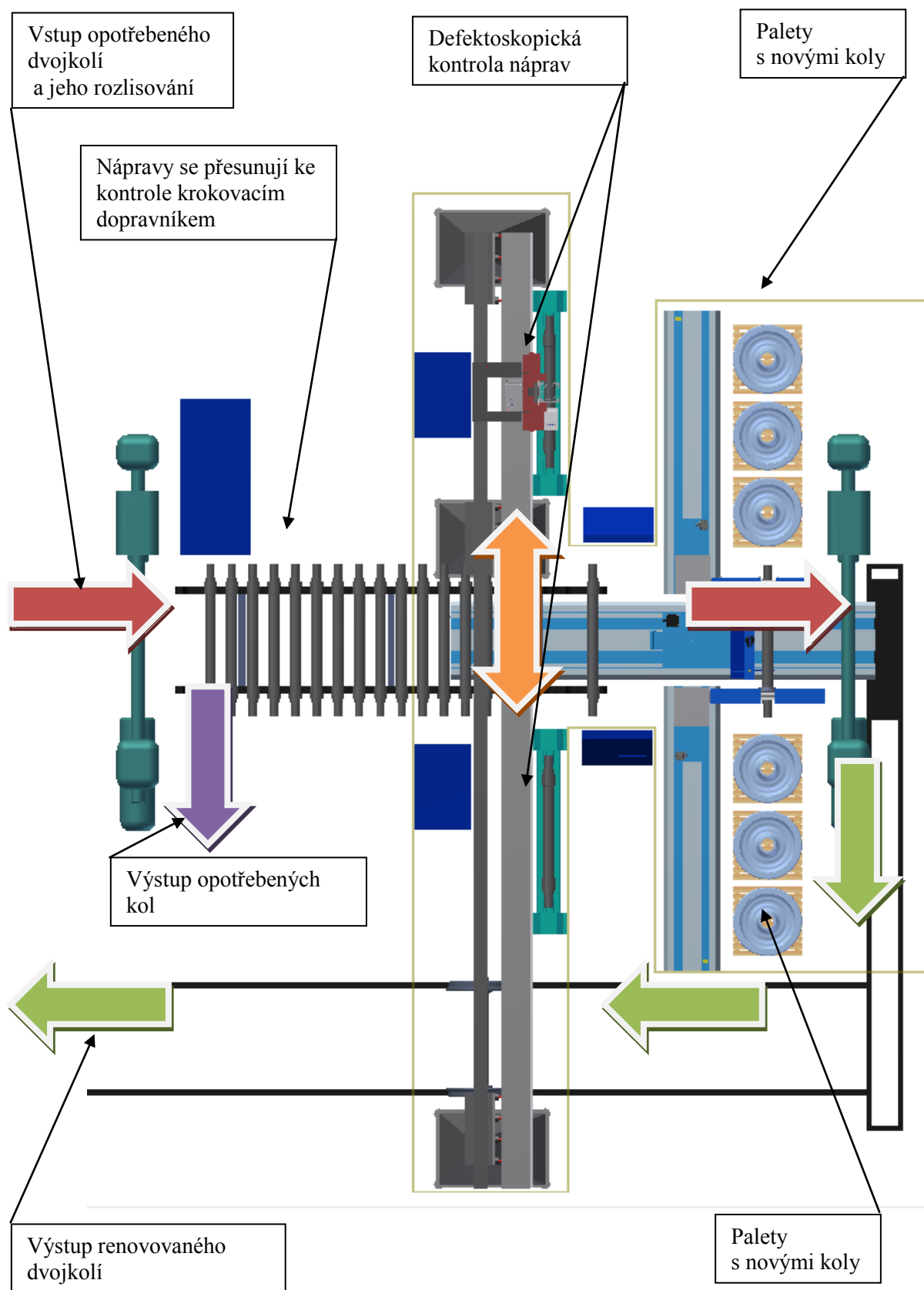
Obr. 12 Dispozice strojů - varianta č. 2

Legenda:

- 1 - vstupní kontrola
- 2 - kontrola rozměru jízdního profilu kola
- 3 - renovace jízdního profilu kola
- 4 - demontáž dvojkolí (hydraulický lis CDR500/ELC7.3)
- 5 - magnetoskopická kontrola
- 6 - montáž dvojkolí (hydraulický lis CDR500/ELC7.3)
- 7 - výstupní kontrola
- 8 - dvouosý portálový manipulátor ZP-7
- 9 - lineární PJ s manipulátorem kol
- 10 - nalisování kol na nápravu



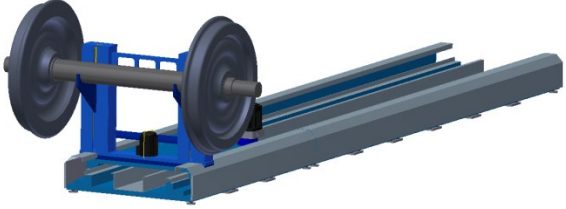
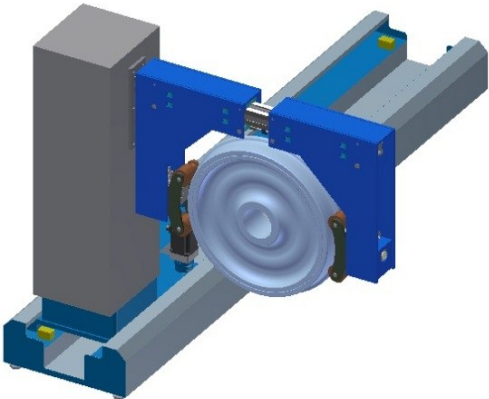
Vizualizace navrhovaného pracoviště – varianta č. 2**Obr. 13 Vizualizace pracoviště - varianta č. 2**

Vizualizace materiálových toků – varianta č. 2



Obr. 14 Materiálové toky - varianta č. 2

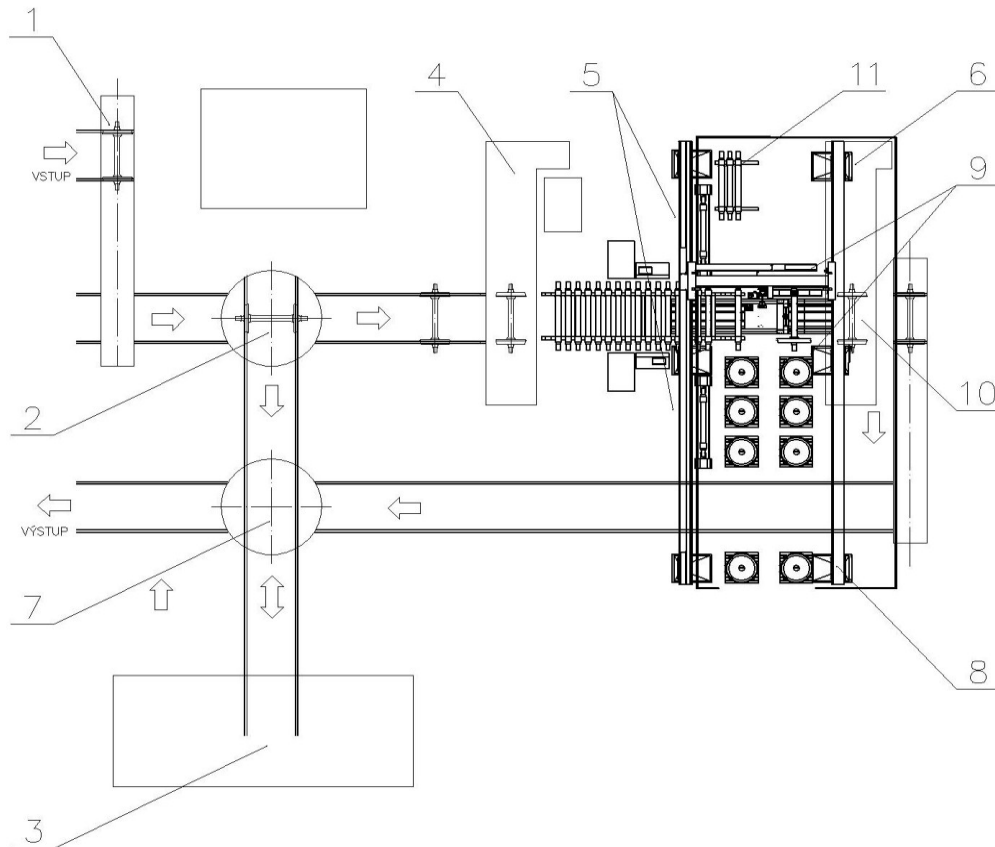
Technologický postup montáže dvojkolí – varianta č. 2

Krok:	Popis:	Vizualizace použitého zařízení:
1	Demontovaná náprava se uloží na krokovací dopravník, kterým postupuje do pracovního prostoru dvouosého portálového manipulátoru ZP-7 a poté k místu odběru nápravy	
2	Dvouosý portálový manipulátor ZP-7 přepravuje nápravu na zařízení pro defektoskopickou kontrolu a zpět pomocí efektoru pro manipulaci s nápravou.	
3	Z krokového dopravníku odebírá manipulátor náprav, který je umístěn na lineárním dopravníku fa. Motoman (TSL 2000SD L=6000), nápravu a zajíždí s ním do polohy pro nasazení kol, poté do lisu a na závěr dvojkolí ukládá na kolejiště.	
4	Nová kola jsou z palety odebírána koncovým efektem pro uchopení a natáčení kol.	
5	Efektor je připevněn na zvedacímu zařízení nasazeném na lineární dopravník fa. Motoman (TSL 1000SD L=3150). Kolo je přemístěno do polohy pro nasazení kol a nasunuto na nápravu.	

Tab. 2 Technologický postup - varianta č. 2

2.2.3. Schéma navrhovaného řešení pracoviště – varianta č. 3

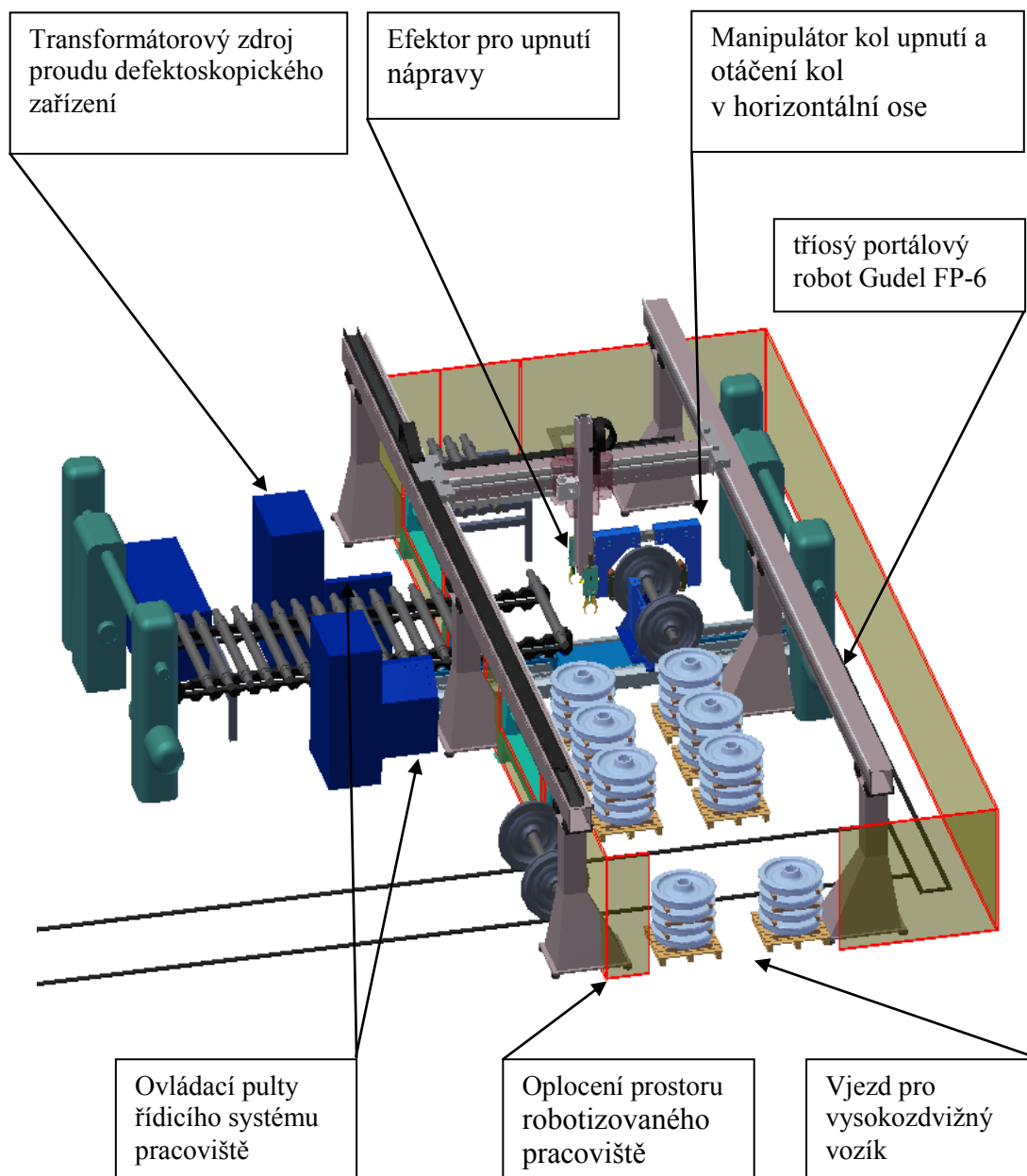
Pracoviště je vybaveno tříosým portálovým robotem a lineárním dopravníkem pro manipulaci s nápravou spolupracujícím s krokovacím dopravníkem náprav. Efektor kol odebírá kola přímo z přepravní palety a provádí selekci vadných náprav.

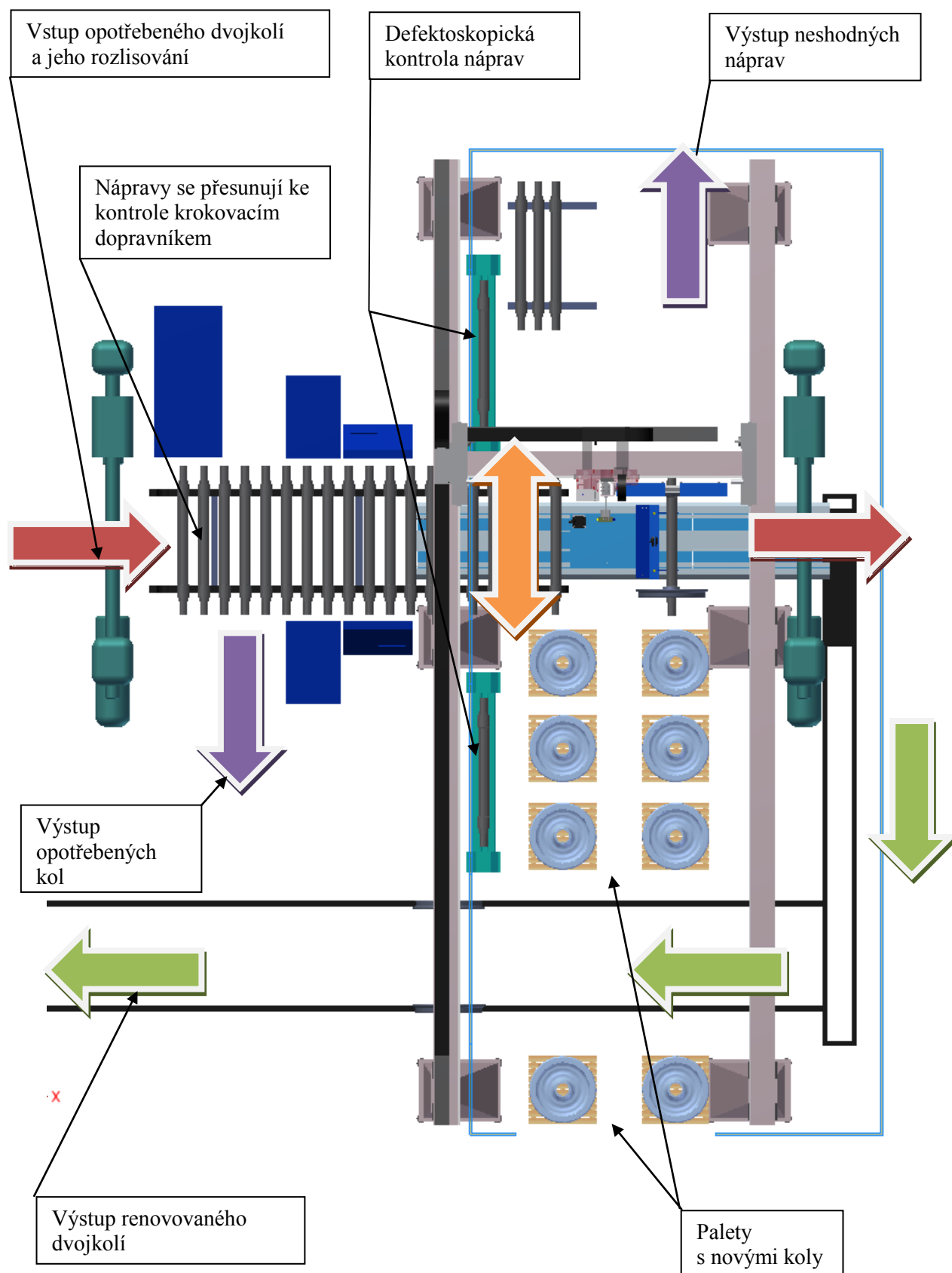


Obr. 15 Dispozice strojů - varianta č. 3



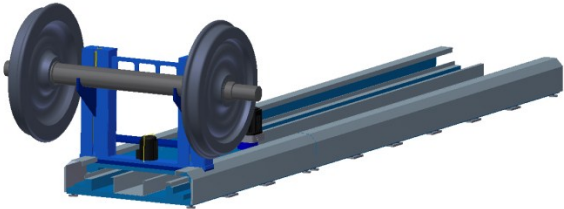
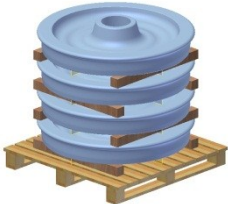
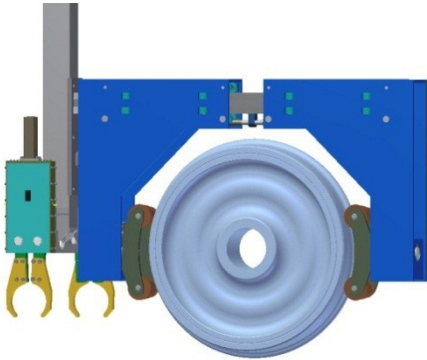
Legenda:

- 1 - vstupní kontrola
- 2 - kontrola rozměru jízdního profilu kola
- 3 - renovace jízdního profilu kola
- 4 - demontáž dvojkolí (hydraulický lis CDR500/ELC7.3)
- 5 - magnetoskopická kontrola
- 6 - montáž dvojkolí (hydraulický lis CDR500/ELC7.3)
- 7 - výstupní kontrola
- 8 - tříosý portálový manipulátor FP-6
- 9 - lineární PJ s manipulátorem kol
- 10 - nalisování kol na nápravu
- 11- neshodné vyřazené nápravy

3D vizualizace navrhovaného pracoviště – varianta č. 3**Obr. 16 Vizualizace pracoviště - varianta č. 3**

Vizualizace materiálových toků – varianta č. 3**Obr. 17 Materiálové toky - varianta č. 3**

Technologický postup montáže dvojkolí – varianta č. 3

rok:	Popis:	Vizualizace použitého zařízení:
1	Demontovaná náprava se uloží na krokovací dopravník, kterým postupuje do pracovního prostoru tříosého portálového manipulátoru FP-6 a poté k místu odběru nápravy	
2	První operací tříosého portálového manipulátoru je přeprava nápravy na zařízení pro defektoskopickou kontrolu a zpět pomocí efektoru pro manipulaci s nápravou.	
3	Z krokového dopravníku odebírá manipulátor náprav, který je umístěn na lineárním dopravníku fa. Motoman (TSL 2000SD L=6000), nápravu a zajíždí s ním do polohy pro nasazení kol, poté do lisu a na závěr dvojkolí ukládá na kolejiště.	
4	Nová kola jsou z palety odebírána koncovým efektozem pro uchopení a natáčení kol.	
5	Druhou operací tříosého portálového manipulátoru je odběr, natočení a nasazení kol na nápravu kombinovaným koncovým efektozem.	

Tab. 3 Technologický postup - varianta č. 3

3. Multikriteriální hodnocení variant

Vyhodnocení a výběr nejvhodnější varianty jsem provedl pomocí Bazické bodovací metody. Touto porovnávací metodou jsem zvolil řešení, které nejlépe splňuje zadané požadavky.

1) Hodnotu každého faktoru, parametru a technické vlastnosti jsem vyjádřil pomocí tříděníku $t_1, t_2 \dots t_j$, se stanovenou (zvolenou) stupnicí kde:

t_1 = minimální hodnota faktoru, parametru, vlastnosti

t_j = maximální hodnota faktoru, parametru, vlastnosti

S kvantifikací a se slovním hodnocením:

$t_1 = 0$ = nevyhovující (min)

$t_2 = 1$ = velmi slabé

$t_3 = 2$ = vyhovující

$t_4 = 3$ = dobré

$t_5 = 4$ = velmi dobré

$t_6 = 5$ = výborné (max.)

I když je hodnocení faktorů subjektivní, je podloženo objektivně zjistitelnými parametry a vlastnostmi.

2) Váha významnosti jednotlivých faktorů, parametrů a technických vlastností jsem dle důležitosti rozlišil koeficienty q_n (≤ 2) tedy: $0 < q_n \leq 2$ a určil ji pomocí trojúhelníku párů hodnocených třemi nezávislými experty.

Hodnocení variant

Do multikriteriálního hodnocení variant Bazickou bodovací metodou byly zahrnuty tyto varianty řešení:

- Varianta 1 s odběrem kol ze zakladače efektozem na lineár. dopravníku
- Varianta 2 s odběrem kol z palety efektozem na lineárním dopravníku
- Varianta 3 s efektozem kol i náprav na rameni 3-osého modulu

Hodnocená kritéria variant:**K1:** Čas cyklu - doba montáže jednoho dvojkolí

Varianta 1 15 min

Varianta 2 15 min

Varianta 3 15 min

K2: Polohování kola – možnost otočení kola z horizontální do vertikální polohy

Varianta 1 NE

Varianta 2 ANO

Varianta 3 ANO

K3: Pořizovací náklady* - celkové finanční prostředky pro realizaci varianty zahrnují pořizovací náklady strojů, projektu, stavební úpravy pracoviště, montáž, seřízení a revize.

Varianta 1 cca. 8 400 000,- Kč

Varianta 2 cca. 8 600 000,- Kč

Varianta 3 cca. 8 042 000,- Kč

K4: Čas nasazení kola - doba nasazení kola na nápravu

Varianta 1 2 min

Varianta 2 2 min

Varianta 3 6 min

K5: Složitost konstrukce* - udává jakým způsobem je varianta zkonstruována

Varianta 1 3 lineární dopravníky a dvouosý manipulační robot

Varianta 2 3 lineární dopravníky a dvouosý manipulační robot

Varianta 3 1 lineární dopravník a tříosý manipulační robot

K6: Stupeň automatizace – udává množství automatizovaných operací

- Varianta 1 Vyžaduje přeložení kol z palety do zakladače
- Varianta 2 Doprava palet s koly pouze portálovým jeřábem
- Varianta 3 Zcela automatizováno včetně selekce vadných náprav

Stanovení váhy významnosti jednotlivými experty:

Porovnávané parametry kritérií					Počet voleb	Pořadí	Váha význ.
<u>K1</u> <u>K2</u>	<u>K1</u> <u>K3</u>	<u>K1</u> <u>K4</u>	K1 <u>K5</u>	<u>K1</u> <u>K6</u>	2	3	1,5
	<u>K2</u> <u>K3</u>	<u>K2</u> K4	<u>K2</u> <u>K5</u>	K2 <u>K6</u>	2,5	2	1,7
		<u>K3</u> K4	<u>K3</u> <u>K5</u>	K3 <u>K6</u>	2,5	2	1,7
			<u>K4</u> K5	K4 <u>K6</u>	1,5	4	0,9
				K5	2	3	1,5
				<u>K6</u>	4,5	1	2

Tab. 4 Trojúhelník párů expert č. 1

Porovnávané parametry kritérií					Počet voleb	Pořadí	Váha význ.
<u>K1</u> <u>K2</u>	<u>K1</u> <u>K3</u>	<u>K1</u> K4	K1 <u>K5</u>	K1 <u>K6</u>	2	3	1,5
	<u>K2</u> <u>K3</u>	<u>K2</u> K4	<u>K2</u> <u>K5</u>	K2 <u>K6</u>	2,5	2	1,7
		<u>K3</u> K4	<u>K3</u> <u>K5</u>	K3 <u>K6</u>	2,5	2	1,7
			<u>K4</u> <u>K5</u>	K4 <u>K6</u>	0,5	4	0,9
				K5	2	3	1,5
				<u>K6</u>	5	1	2

Tab. 5 Trojúhelník párů expert č. 2

Porovnávané parametry kritérií					Počet voleb	Pořadí	Váha význ.
<u>K1</u> <u>K2</u>	K1 <u>K3</u>	<u>K1</u> <u>K4</u>	K1 <u>K5</u>	<u>K1</u> <u>K6</u>	1,5	4	1,1
	<u>K2</u> <u>K3</u>	<u>K2</u> K4	<u>K2</u> <u>K5</u>	K2 <u>K6</u>	3	2	1,8
		<u>K3</u> K4	<u>K3</u> <u>K5</u>	K3 <u>K6</u>	3	2	1,8
			<u>K4</u> <u>K5</u>	K4 <u>K6</u>	1	5	1,1
				K5	2,5	3	1,5
				<u>K6</u>	4,5	1	2

Tab. 6 Trojúhelník párů expert č. 3

K1	K2	K3	K4	K5	K6
1,37	1,73	1,73	0,97	1,5	2

Tab. 7 Vypočtené váhy významnosti

Stanovení relativní technické úrovně:

	Vlastnost	g _n	Varianta 1		Varianta 2		Varianta 3	
			t _n	τ _n	t _n	τ _n	t _n	τ _n
T1	Čas cyklu	1,37	4	5,5	4	5,5	4	5,5
T2	Polohování kola	1,73	0	0	5	8,7	5	8,7
T3	Pořizovací náklady*	1,73	3	5,2	3	5,2	4	6,9
T4	Čas nasazení kola	0,97	4	3,9	4	3,9	2	1,9
T5	Složitost konstrukce*	1,5	3	4,5	3	4,5	4	6
T6	Stupeň automatizace	2	3	6	3	6	4	8
Celkem			25		33,7		37	
Relativní technická úroveň			68%		91%		100%	

Tab. 8 Hodnocení variant

Pozn. Vlastnosti označené (*) mají inverzní charakter tj. Čím vyšší hodnota vlastnosti, tím nižší hodnota faktoru t_n.

4. Specifikace řešení zvoleného pracoviště

Výsledkem multikriteriálního hodnocení variant je výpočet technické hodnoty požadovaných vlastností technického řešení navržených pracovišť. Nejvyšší technickou hodnotu dosáhla varianta číslo 3.

K dalšímu rozpracování konstrukčního řešení proto vybírám variantu č. 3.

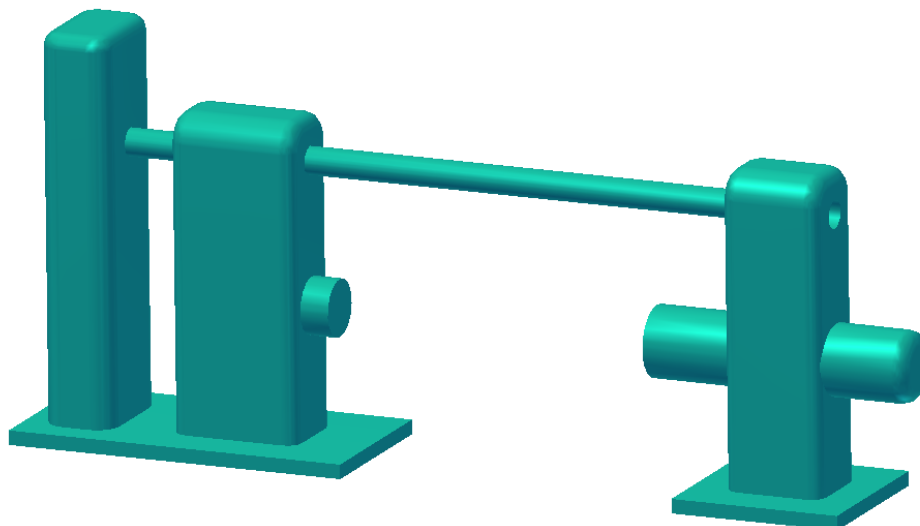
Navržené pracoviště (výkres číslo KOR-DP-RTP) se skládá z těchto hlavních technologických zařízení:

- a) stávajících hydraulické lisy pro montáž/demontáž dvojkolí pozice 2
- b) zařízení pro magnetoskopickou kontrolu vlastní konstrukce pozice 3
- c) krokovacího řetězového dopravníku vlastní konstrukce pozice 4
- d) lineárního manipulátoru fa. Motoman (TSL 2000SD L=6000) pozice 5
- e) tříosého portálového manipulátoru fa. Güdel FP-6 pozice 1
- f) kombinovaného koncového efektoru vlastní konstrukce pozice 6

4.1. Technická specifikace stávajícího zařízení

Hydraulický lis

Typ:	CDR 500/ELC 7.3
Výrobce:	ŽĎAS a.s.
Rozměry: d x š x v	5 600 x 800 x 1 900 mm
Lisovací síla:	max. 2 750 000 N
Zdvih:	700 mm
Max. délka nápravy:	2500 mm
Max. průměr kola:	1450 mm
Lisovací rychlost:	0,8 mm/s
Celkový příkon:	55 kW/h



Obr. 18 Hydraulický lis

Zařízení pro magnetoskopickou kontrolu

Nosnost:	1 500 kg
Max. délka nápravy:	2 200 mm
Max. průměr kola:	1 450 mm
Přítlačná síla kontaktů:	1 000 N
Rozměry: d x š x v	2 900 x 500 x 950 mm
Magnetizační proud:	2 000 A
Pracovní napětí:	12 V
Celkový příkon:	5 kW/h

**Obr. 19 Zařízení pro magnetoskopickou kontrolu**

Krokovací řetězový dopravník

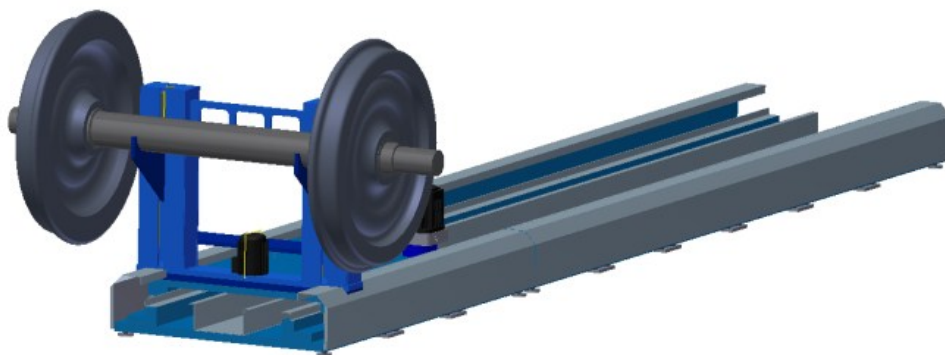
Nosnost:	19 x 335 kg = 6 365 kg
Max. počet náprav:	19 ks
Rychlost dopravníku:	0,1 m/s
Výkon elektromotoru:	2 000 W
Rozměry: d x š x v	6 100 x 1 500 x 1 100 mm
Celkový příkon:	3 kW/h

**Obr. 20 Krokovací řetězový dopravník**

4.2. Technická specifikace nakupovaného zařízení

Lineární dopravník

Typ:	TSL-2000 SD
Výrobce:	Motoman
Rozměry: d x š x v	6 500 x 1 100 x 800 mm
Délka posuvu:	6 000 mm
Nosnost:	2 000 kg
Max. rychlost:	1,8 m/s
Max. zrychlení:	2,25 m/s ⁻²
Přesnost polohování:	± 0,08 mm
Celkový příkon:	4 kW/h



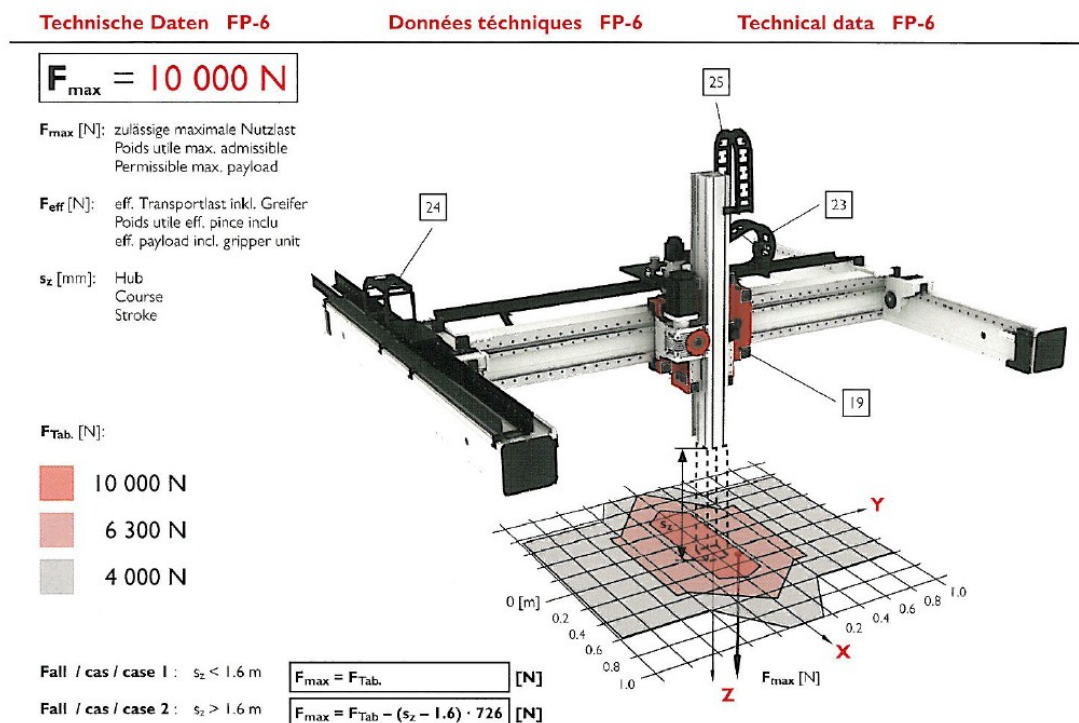
Obr. 21 Lineární dopravník

Třiosý modul manipulátoru

Typ:	FP - 6
Výrobce:	GÜDEL a.s.
Max. nosnost:	1 000 kg
Rozměry: d x š x v	14 000 x 5 400 x 3 400 mm
Celková dráha v ose X:	13 500 mm
Celková dráha v ose Y:	3 900 mm
Celková dráha v ose Z:	2 520 mm
Celkový příkon:	14,8 kW/h

Rozsah a velikost síly v ose Z, na kterou je dimenzován manipulátor viz. Obr. 22.

Další technické specifikace viz. Příloha DP č. 8.

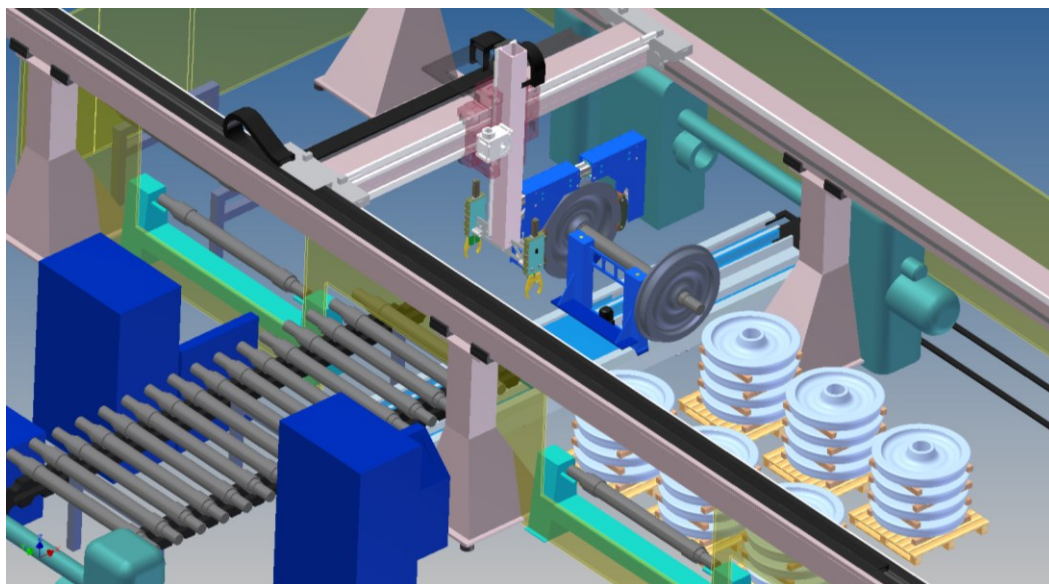


Obr. 22 Možnosti zatížení ramene manipulátoru

4.3. Popis robotizovaného pracoviště

Navržená varianta nahrazuje manipulaci s nápravou a koly ručně ovládaným portálovým jeřábem tříosým robotickým manipulátorem. Ten manipuluje s nápravou mezi krokovacím řetězovým dopravníkem a pracovišti defektoskopické kontroly a také odebírá kola z palety, otáčí je do polohy pro nasunutí na nápravu a nasunuje je na nápravu. Tuto činnost mu umožňuje kombinovaný koncový efektor.

Nosnost manipulátoru neumožňuje manipulaci s celým dvojkolím, tato činnost je prováděna manipulátorem náprav upevněném na lineárním dopravníku. Ten odebírá nápravy z krokavacího řetězového dopravníku a přesunuje do polohy pro nasazení kol. Sestavené dvojkolí se přemístí do hydraulického lisu, který dokončí montáž nalisováním kol. Na závěr je dvojkolí umístěno na příčný dopravník, který ho přesune na výstupní kolej (viz. Obr. 23).



Obr. 23 Náhled na robotizované pracoviště montáže

Navržené pracoviště je také doplněno druhým pracovištěm defektoskopické kontroly z důvodu zdvojnásobení kapacity montážního pracoviště. U stávajícího řešení byla doba defektoskopie nápravy shodná s dobou pro montáž dvojkolí. Robotizovaná manipulace při montáži zkrátila potřebný čas o 50% a to umožnilo zkrácení taktu pracoviště z 30 na 15 minut.

Možnost pohybu koncového efektoru ve třech osách umožňuje odebírat kola z přepravních palet z více míst v pracovním prostoru manipulátoru a také selekci náprav, které nevyhověly při defektoskopické kontrole.

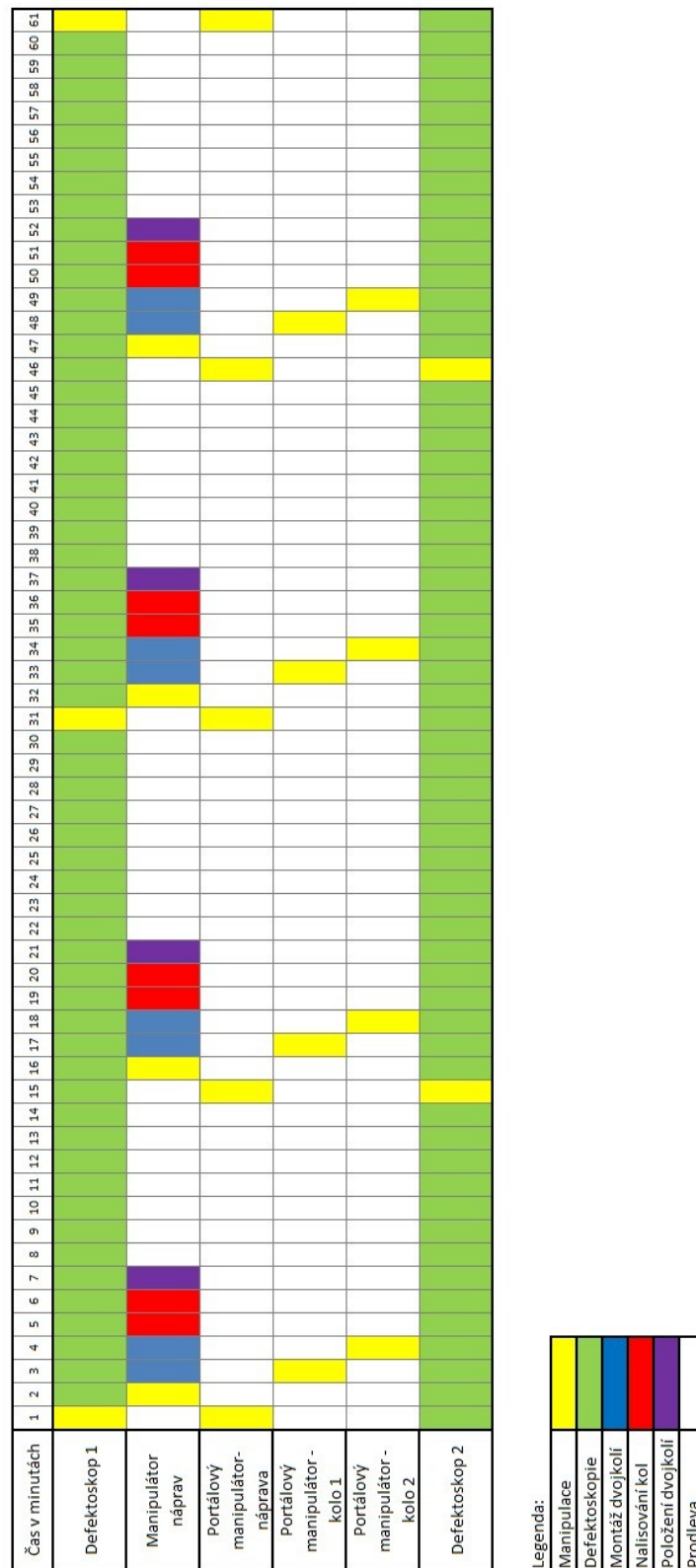
Možnost odběru kol z přepravních palet z více míst v pracovním prostoru je podmíněna schopností zaměřit kola stacionárně umístěnými kamerami nad pracovním prostorem a kamerou umístěnou na koncovém efektoru pro přesné uchopení kola. Pokud systém nebude schopen zaměřit kola na dodávaných paletách, navrhuji výrobu speciální palety, která umožní zajistit její přesnou polohu v pracovním prostoru. Toto řešení by vyžadovalo přeložení kol do této speciální palety nebo výrobu více palet, které by sloužily také k dopravě kol přímo od výrobce.

Na dvou defektoskopických zařízeních probíhá kontrola náprav kontinuálně a je přerušována pouze výměnou náprav v pravidelných cyklech pracoviště. Tuto výměnu provádí tříosý manipulátor efektozem pro manipulaci s nápravou.

Nápravy jsou odebírány z krokovacího řetězového dopravníku, na který byly uloženy po demontáži rozlisováním na hydraulickém lise. Další manipulaci s nápravou provádí manipulátor náprav (umístěný na lineárním dopravníku). Ten odebírá nápravu z krokovacího dopravníku a přemístí ji do polohy, ve které jsou na ni nasunuty kola. Tuto operaci provádí rovněž tříosý manipulátor efektozem pro manipulaci s kolem. Kola jsou odebírána z přepravních palet, pootočená do potřebné polohy a nasunuta na nápravu. Manipulátor sestavené dvojkolí přemístí do hydraulického lisu, ve kterém je provedena montáž nalisováním kol na nápravu. Posledním krokem manipulátoru je uložení dvojkolí na příčný dopravník, který transportuje dvojkolí na výstupní kolej.

Časový rozpis jednotlivých pohybů a technologických operací při montáži je zpracován v tabulce časového rozpisu (viz. Tab. 9).

4.4. Časová studie pohybů a technologických operací



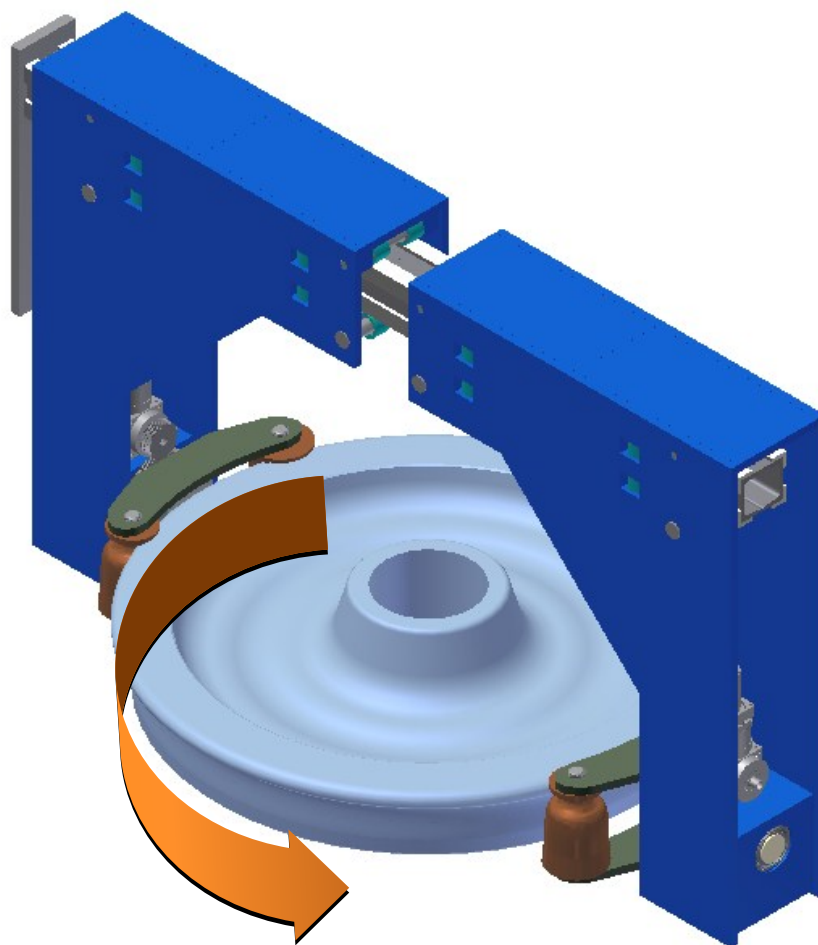
Tab. 9 Časový rozpis

4.5. Návrh koncového efektoru

Pro manipulaci s kolem navrhují koncový efektor, který pomocí tvarových měděných čelistí uzamkne polohu kola při upnutí a nepoškodí tak povrch jízdního profilu kola.

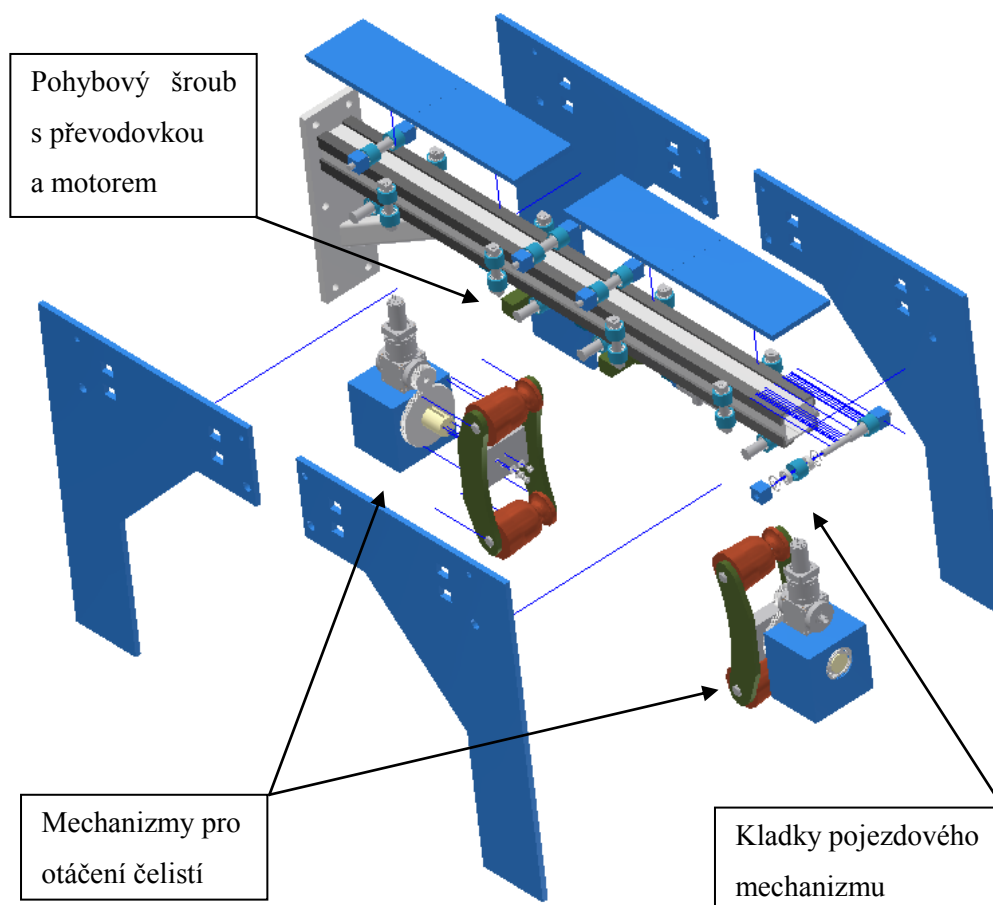
Navrhují čtyři tvarové čelisti upevněné na polohovacím mechanismu, který je natáčen okolo osy „y“ rotačním stejnosměrným elektromotorem s planetovou převodovkou a čelními ozubenými koly. Upnutí do čelistí bude umožněno pohybem obou ramen po nosníku. Nosník má po stranách pojezdové lišty tvaru „L“, po kterých se odvalují kladky zachycující klopné momenty. Pohyb ramen po translační PJ bude ovládán pohybovým šroubem poháněným rotačním stejnosměrným elektromotorem s přímou planetovou převodovkou.

Toto konstrukční řešení umožní uchopení OM (kola) z obou stran a jeho pootočení do polohy pro nasunutí na nápravu v rozsahu $\pm 90^\circ$ (viz. Obr. 24).

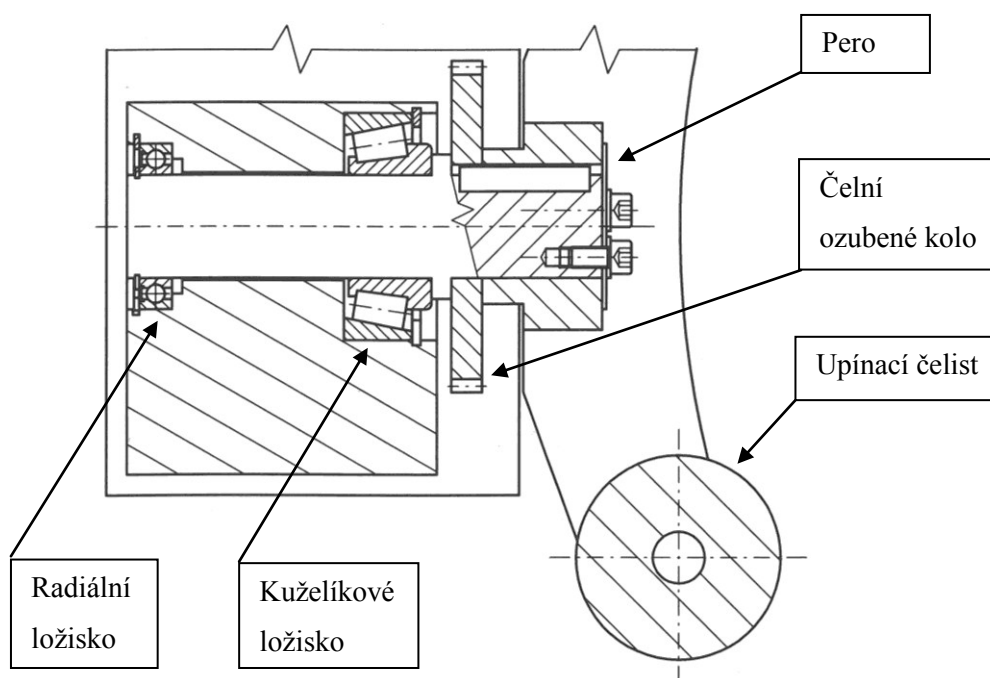


Obr. 24 Koncový efektor pro manipulaci s kolem

Pohled na konstrukční řešení efektoru znázorňuje Obr. 25 a Obr. 26.



Obr. 25 Konstrukční řešení efektoru

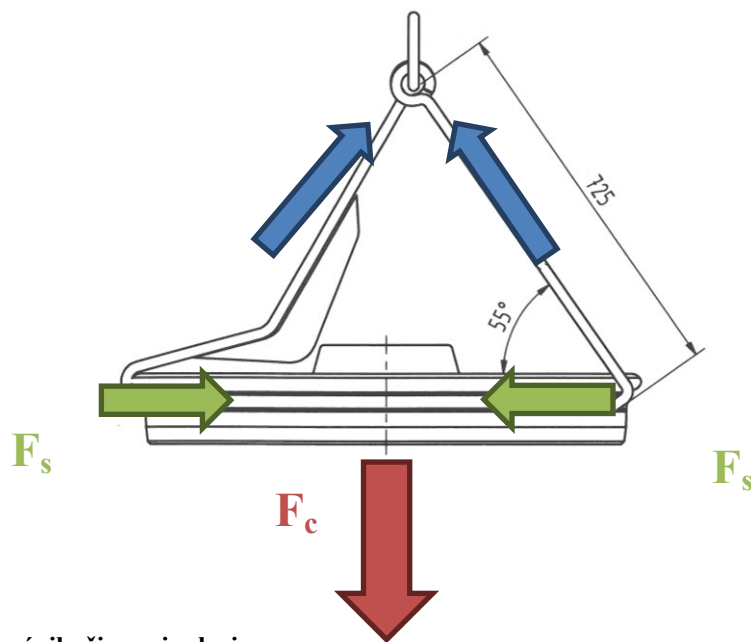


Obr. 26 Řez mechanismem pro otáčení čelistí efektoru

4.6. Předběžné konstrukční výpočty

4.6.1. Kontrola pohybového šroubu

Pro kontrolu pevnosti pohybového šroubu je nutné vypočítat sílu, kterou upínací čelisti svírají kolo při manipulaci. Při výpočtu vycházím ze stávajícího řešení manipulace s koly pomocí manipulačních háků.



Obr. 27 Rozložení sil při manipulaci

Celková hmotnost OM: $m_1 = 381 \text{ kg}$

Zrychlení zdvihu jeřábu: $a_1 = 2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

Celkové zrychlení v ose z: $a = a_1 + g = 2 + 9,81 = 11,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

Celková zatěžující síla: $F_c = m \cdot a = 381 \cdot 11,81 = 4\,499,6 \text{ N}$

Síla svírající OM: $F_s = \frac{F_c}{\tan \alpha} = \frac{4\,499,6}{\tan 55} = 3\,146,6 \text{ N}$

Materiál šroubu: 12 060

Mez kluzu v tahu: $R_e = 350 \text{ MPa}$

Součinitel statické bezpečnosti: $k_s = 3$

Dovolené napětí: $\sigma_D = \frac{R_e}{k_s} = \frac{350}{3} = 116,6 \text{ MPa}$

Lichoběžníkový závit rovnoramenný Tr20 x 4 ČSN 01 4050

Velký Ø závitu šroubu: $d = 20 \text{ mm}$

Střední Ø závitu šroubu: $d_2 = 18 \text{ mm}$

Malý Ø závitu šroubu: $d_3 = 15,5 \text{ mm}$

Vrcholový úhel závitu: $\beta = 30^\circ$

Napětí v tahu: $\sigma_t = \frac{4 \cdot F_u}{\pi \cdot d_3^2} = \frac{4 \cdot 3146,6}{\pi \cdot 15,5^2} = 16,6 \text{ MPa}$

Napětí v krutu: $\tau_k = \frac{M_R}{W_k} = \frac{731,2}{7\,169} = 0,1 \text{ MPa}$

Modul v průřezu: $M_R = \frac{\pi \cdot d_3^3}{16} = \frac{\pi \cdot 15,5^3}{16} = 731,2 \text{ mm}^3$

Modul v krutu: $W_k = F_u \cdot \tan(\gamma + \varphi) \cdot \frac{d_2}{2}$

$$W_k = 3\,136,4 \cdot \tan(4,05^\circ + 10,2^\circ) \cdot \frac{18}{2} = 7\,169 \text{ Nmm}$$

Výpočet úhlu stoupání a třecího úhlu, který vychází ze základního součinitele smykového tření v závitech, zvětšeného účinkem sklonu lichoběžníkového závitu daným úhlem profilu $\beta = 30^\circ$.

$$\gamma = \arctan \frac{P}{\pi \cdot d_2} = \arctan \frac{4}{\pi \cdot 18} = 4,05^\circ$$

$$\varphi = \arctan \frac{f_z}{\cos \frac{\beta}{2}} = \arctan \frac{0,11}{\cos \frac{30}{2}} = 10,2^\circ$$

Ověření samosvornosti: $\gamma \leq \varphi$

Napětí redukované: $\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_t^2 + 4\tau_k^2}$

$$\sigma_{red} = \sqrt{16,6^2 + 4 \cdot 0,1^2}$$

$$\sigma_{red} = 16,6 \text{ MPa}$$

Kontrola:

$$\sigma_{red} < \sigma_d$$

$$16,6 \text{ MPa} < 116,6 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

4.6.2. Kontrola nosníku (ramene)

Rameno je namáháno na ohyb hmotností manipulátoru kol a kola. Toto zatížení je rozmístěno rovnoměrně po délce ramene a je počítáno jako statické spojité zatížení. Rameno je podepřeno vzpěrou - výsledná délka vetknutého nosníku je 1 100 mm.

Celková hmotnost OM: $m_1 = 381 \text{ kg}$

Hmotnost efektoru: $m_2 = 114 \text{ kg}$

Hmotnost ramene: $m_3 = 42 \text{ kg}$

Celková hmotnost: $m_c = m_1 + m_2 + m_3 = 381 + 114 + 42 = 537 \text{ kg}$

Celková zatěžující síla: $F_0 = m_c \cdot g = 537 \cdot 9,81 = 5\,268 \text{ N}$

Materiál ramene: S355J2

Modul pružnosti: $E = 210\,000 \text{ MPa}$

Spojité zatížení: Nahrazeno silou v těžišti $Q = q \cdot l \Rightarrow 5\,268 \text{ N}$

Kvadratický moment průřezu: $J_x = 2\,271\,007 \text{ mm}^4$

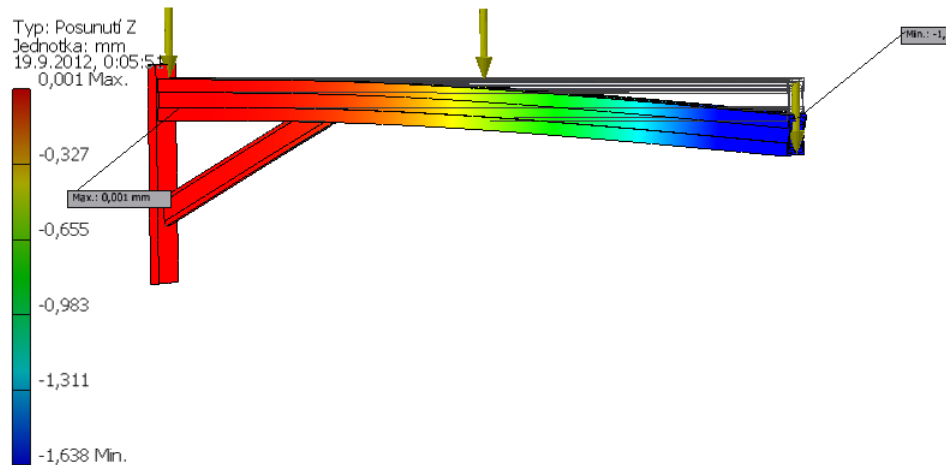
$$J_x = \frac{BH^3 - bh^3}{12}$$

Úhel natočení průřezu: $\alpha_{\max} = 0,002 \text{ rad} = 0,12^\circ$

$$\alpha_{\max} = \frac{Ql^2}{6EJ} = \frac{5\,268 \cdot 1\,100^2}{6 \cdot 210\,000 \cdot 2\,271\,007}$$

Průhyb: $y_{\max} = 1,74 \text{ mm}$

$$y_{\max} = \frac{Ql^3}{8EJ} = \frac{5\,268 \cdot 1\,100^3}{8 \cdot 210\,000 \cdot 2\,271\,007}$$



Obr. 28 Výsledek pevnostní analýzy MKP (Inventor 2013) – max. průhyb 1,638mm

Velikost průhybu **vyhovuje** požadované přesnosti manipulátoru.

4.6.3. Kontrola synchronního servomotoru

Kolo je po uchopení v čelistech natáčeno o úhel $\pm 90^\circ$ dle potřeby polohy montáže. Motor překonává moment setrvačnosti OM, motoru, převodovky a valivé odpory v ložiscích. Je použito jednořadé kuželíkové ložisko na straně čelistí a jednořadé radiální kuličkové ložisko na druhé straně.

Hmotnost kola: $m_1 = 381 \text{ kg}$

Poloměr kola: $R = 0,49 \text{ m}$

Moment setrvačnosti kola: $J_1 = 24,966\,464 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ (Inventor 2013)

Kontrolní výpočet momentu setrvačnosti kola:

$$J_k = \frac{1}{4} \cdot m \cdot R^2 = \frac{1}{4} \cdot 381 \cdot 0,49^2 = 22,869\,525 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$$

Kontrolní výpočet momentu setrvačnosti předpokládá rovnoměrné rozmístění hmot. Železniční kolo má po obvodu jízdní profil spojený se středem kola odlehčeným tvarovaným profilem z důvodu odpružení. V dalším výpočtu tedy vycházím z výpočtu 3D modelu programu Inventor 2013.

Moment setrvačnosti motoru: J_M [kg·m²]

$$J_M = 0,014 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \text{ (katalog Raveo)}$$

Moment setrvačnosti na výstupu: $J_{M \rightarrow K}$ [kg·m²]

$$J_{M \rightarrow K} = J_M \cdot i^2$$

$$J_{M \rightarrow K} = 0,014 \cdot 10^{-3} \cdot 50^2$$

$$J_{M \rightarrow K} = 0,035 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Moment setrvačnosti převodovky: J_P [kg·m²]

$$J_P = 0,09 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \text{ (katalog Raveo)}$$

Celkový moment setrvačnosti: J_c [kg·m²]

$$J_c = J_{M \rightarrow K} + J_p + J_I$$

$$J_c = 0,035 + 0,09 \cdot 10^{-3} + 24,966$$

$$J_c = 25 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Úhel natočení OM:

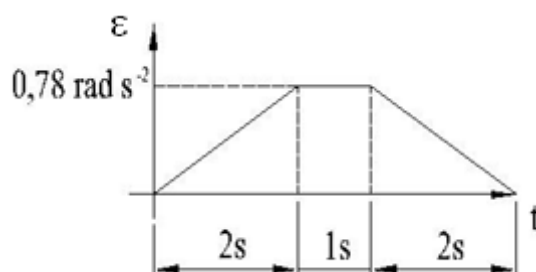
$$\varphi = \frac{\pi}{2}$$

$$\varphi = \frac{1}{2} \varepsilon t_r^2$$

Úhlové zrychlení:

$$\varepsilon = 0,78 \text{ rad s}^{-2}$$

$$\varepsilon = \frac{2\varphi}{t_r^2}$$



Obr. 29 Graf rozběhu, ustáleného pohybu a brzdění OM

Čas rozběhu při otáčení OM: $t_r = 2 \text{ s}$ (viz. Obr. 29)

Celkový čas natočení OM: $t_c = 5 \text{ s}$

Teoretický krouticí moment: $M_{kT} = 19,5 \text{ Nm}$

$$M_{kT} = J_c \cdot \varepsilon$$

Koeficient bezpečnosti: $k = 2$

Potřebná hodnota M_k : $M_k = 39 \text{ Nm}$

$$M_k = M_{kT} \cdot k$$

Úhlová rychlost: $\omega = 0,78 \text{ rad s}^{-1}$

$$\omega = \frac{\varphi}{t}$$

Potřebný výkon motoru: $P = 76,05 \text{ W}$

$$P = M_k \cdot \omega$$

Navržený servomotor

Pro natáčení OM pracují v součinnosti dva servomotory (viz. Obr. 25).

Typ: ECOSTEP 23S16-0560-805L7-52

Výrobce: RAVEO

Specifikace: Synchronní motor se zpětnou vazbou

Krouticí moment $[M_k]$: 40 Nm

Max. napětí DC $[U]$: 60 V

Výstupní otáčky $[n]$: 1500 ot·min⁻¹

Výstupní výkon $[P]$: 100 W

Navržená převodovka

Převodovka servomotoru ECOSTEP pro natáčení OM (viz. Obr. 25).

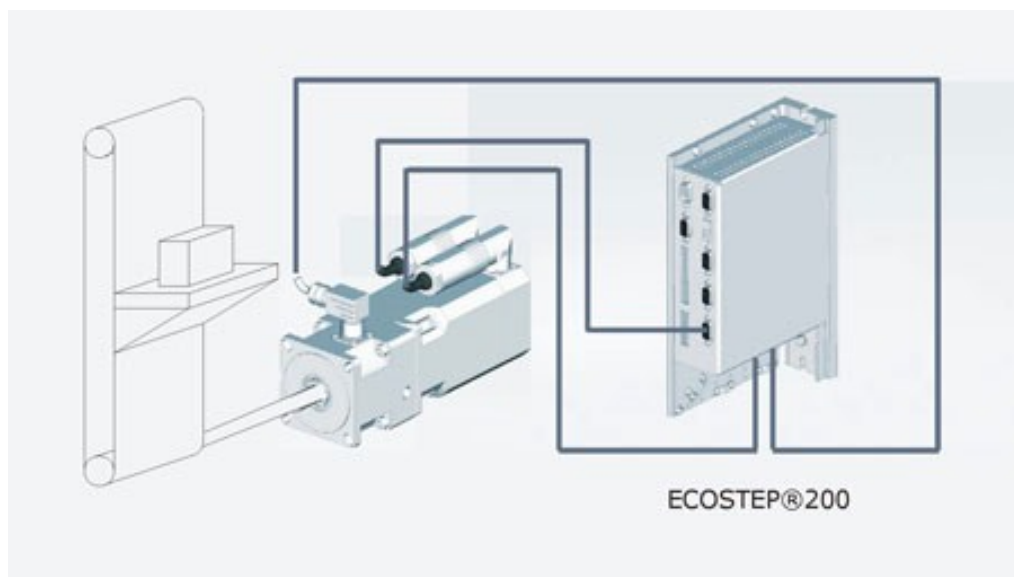
Typ:	ANR023
Výrobce:	APEX DYNAMICS
Specifikace:	Planetová převodovka 90°
Max. krouticí moment [M_k]:	60 Nm
Převodový poměr [i]:	1 : 50

Na výstupní hřídeli převodovky je nasazeno čelní ozubené kolo, které je v záběru s čelním ozubeným kolem na hřídeli s upínacími čelistmi s převodovým poměrem 1:2. Celkový převod mezi motorem a hřídelí s čelistmi je tak 1:100.

Protože pro natáčení OM předpokládám lineární průběh zrychlení z klidové polohy, bude úhel natočení o polovinu menší než při skokovém zrychlení. Při převodovém poměru 1:100 bude OM natočený o 36° za 2 sekundy, následuje jedna sekunda ustáleného pohybu a 2 sekundy brzdění.

Navržená řídicí jednotka servomotoru

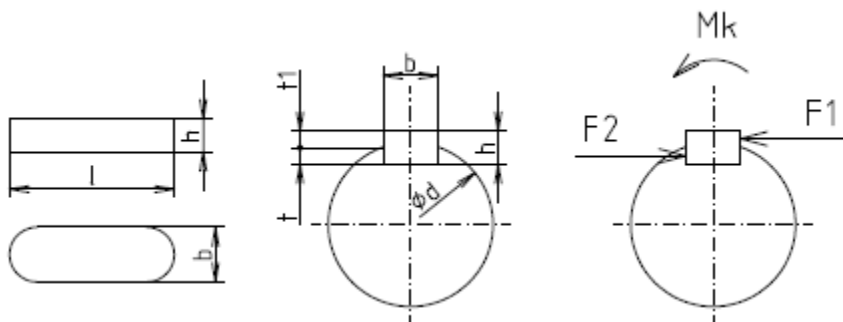
Typ:	ECOVARIO 214 AN
Výrobce:	RAVEO



Obr. 30 Zapojení servomotoru na řídicí jednotku

Výkon a otáčky navrženého motoru vyhovují požadavkům.

4.6.4. Kontrola pera hřídele



Obr. 31 Náčrtek zatížení pera

Průměr hřídele (osy): $d = 70 \text{ mm}$

Výška/délka pera: $h = 7 \text{ mm} / l = 13,2 \text{ mm}$

Dovolený tlak: $p_D = 120 \text{ MPa}$

Síla: $F = 5\,571 \text{ N}$

$$l \geq \frac{F}{p_D \cdot t_1} = \frac{5\,571}{120 \cdot 3,5} = 13,2 \text{ mm}$$

Kontrola dovoleného tlaku:

$$p_1 = \frac{F}{S} = \frac{F}{l \cdot t} = \frac{5\,571}{20 \cdot 3,5} = 79,58 \text{ MPa}$$

Navržené rozměry pera vyhovují.

5. Kapacitní propočty

Čas cyklu kontroly je 30 min a je nejdelší v technologickém postupu renovace dvojkolí. Protože v navržené variantě jsou dvě defektoskopická pracoviště, zkracuje se tak na 15 min pro jedno dvojkolí. Tento čas je použit v kapacitním propočtu.

$$t_k = 15 \text{ min}$$

Počet hodin v jedné směně

$$T_s = 7,5 \text{ hod} = 450 \text{ min}$$

Počet pracovních dnů v roce 2013

$$D_p = D_c - D_{so} - D_{ne} - D_{sv} = 365 - 53 - 53 - 7 = 252 \text{ dnů}$$

Počet hodin v pracovních dnech za rok

$$T_r = D_p \cdot s \cdot T_s = 252 \cdot 2 \cdot 7,5 = 3\,795 \text{ hod}$$

Efektivně odpracované hodiny za jednu směnu

$$H_{ef} = T_s - T_1 - T_2 - T_3 - T_4 = 480 - 10 - 5 - 10 - 5 = 420 \text{ min} = 7 \text{ hod}$$

Součinitel plnění norem

$$\lambda = \frac{H_{ef}}{T_s} = \frac{420}{450} = 0,933$$

Objem výroby za směnu

$$Q_{ms} = \frac{H_{ef}}{T_k} = \frac{420}{15} = 28 \text{ ks}$$

Objem výroby za pracovní den

$$Q_{md} = \frac{2 \cdot H_{ef}}{T_k} = \frac{2 \cdot 420}{15} = 56 \text{ ks}$$

Objem výroby za rok

$$Q_{mr} = Q_{md} \cdot D_p = 56 \cdot 253 = 14\,168 \text{ ks}$$

6. Ekonomický rozpis

6.1. Pořizovací náklady strojů

Zařízení pro magnetoskopickou kontrolu náprav	310 000,- Kč
Manipulátor náprav	76 000,- Kč
Lineární manipulátor TSL 2000SD	1 172 000,- Kč
Výroba efektoru	94 000,- Kč
Manipulační robot FP-6	4 745 000,- Kč
Stavební úpravy dispozičního řešení pracoviště	85 000,- Kč
Zařízení pro zajištění bezpečnosti práce	210 000,- Kč

6.2. Vývoj a režijní náklady

Projektová část	120 000,- Kč
Montáž strojní	448 000,- Kč
Montáž elektro	232 000,- Kč
Seřízení, odladění	525 000,- Kč
Revize	25 000,- Kč

Celkové fixní náklady **8 042 000,- Kč**

6.3. Mzdové náklady

Hodinová mzda včetně odvodů

$$N_h = 300,- \text{ Kč}$$

Mzdové náklady na jednu směnu

$$N_s = N_h \cdot T_s \cdot P_D = 300 \cdot 7,5 \cdot 3 = 6\,750,- \text{ Kč}$$

Mzdové náklady za jeden rok **3 415 000,- Kč**

$$N_r = D_p \cdot N_s \cdot s = 253 \cdot 6\,750 \cdot 2 = 3\,415\,000,- \text{ Kč}$$

6.4. Materiálové náklady na výrobek

Do nákladů není započítán nákup a následný prodej nových kol.

Ultrazvuková zkouška 22,- Kč

Magnetická zkouška 26,- Kč

Opotřebení plátků (soustruh) 52,- Kč

Celkem $N_m = 100,-$ Kč

Materiálové náklady za jeden rok 1 012 000,- Kč

$$N_{mr} = N_m \cdot Q_{mr} = 100 \cdot 10\,120 = 1\,012\,000,- \text{ Kč}$$

6.5. Rozpis energií

Spotřeba elektrické energie

Příkon manipulačního robotu FP-6 v ose „x“	3,2 kW/h
Příkon manipulačního robotu FP-6 v ose „y“	2,5 kW/h
Příkon manipulačního robotu FP-6 v ose „z“	9,1 kW/h
Příkon lineárního manipulátoru TSL 2000SD	4 kW/h
Příkon krokového dopravníku	3 kW/h
Příkon zařízení magnetoskopické kontroly	5 kW/h
Celkem	39 kW/h

Přepočet elektrické energie na jednu nápravu

Příkon manipulačního robotu FP-6 v ose „x“	110 W/h - ks
Příkon manipulačního robotu FP-6 v ose „y“	90 W/h - ks
Příkon manipulačního robotu FP-6 v ose „z“	300 W/h - ks
Příkon lineárního manipulátoru TSL 2000SD	260 W/h - ks
Příkon krokového dopravníku	30 W/h - ks
Příkon zařízení magnetoskopické kontroly	80 W/h - ks
Celkem	870 W/h - ks

Roční spotřeba

$$P_r = P_{jc} \cdot Q_{mr} = 870 \cdot 14\,168 = 12\,326\,160 \text{ W/h} = 12\,326,16 \text{ kW/h}$$

Cena za jednotku elektrické energie

$$N_j = 3,91 \text{ Kč/kW/h}$$

Roční náklady

48 195 Kč

$$N_{el} = P_r \cdot N_j = 12\,326,16 \cdot 3,91 = 48\,195 \text{ Kč}$$

6.6. Čistý roční zisk

Prodejní cena renovace dvojkolí

$$V_1 = 1\,700 \text{ Kč}$$

Hrubý roční zisk

$$V_{rh} = V_1 \cdot Q_{mr} = 1\,700 \cdot 14\,168 = 24\,085\,600 \text{ Kč}$$

Rozpočet

položka		hodnota	
označení	popis	index	Kč
V_{rh}	Hrubý roční zisk	+	24 085 600,-
N_{fix}	Fixní náklady	-	8 042 000,-
N_{rt}	Mzdové náklady	-	3 415 000,-
N_{mr}	Materiálové náklady	-	1 012 000,-
N_{el}	Elektrická energie	-	48 195,-
Z_{+}	Zisk před zdaněním	/	11 568 405,-
D_{55}	Daň 55%	-	6 362 622,-
Z_{-55}	Zisk	/	5 205 782,-
Inf	Inflace 2012	-	3,3 %
$Z_{rč}$	Čistý roční zisk	/	5 033 990,-

Tab. 10 Rozpočet

6.7. Návratnost

$$\text{návratnost} = \frac{\text{celkové náklady}}{\text{čistý roční zisk}} = \frac{12\,517\,195}{5\,033\,990} = 2,48 \text{ roku}$$

7. Bezpečnost práce

V pracovním prostoru manipulačního robotu jsou z důvodu zajištění maximální bezpečnosti práce aplikovány prvky pasivní a aktivní bezpečnosti.

- 1) Ochranné hrazení manipulačního prostoru robotu.
- 2) Světelné závory v otvorech hrazení pro pohyb dvojkolí, obsluhu magnetoskopického zařízení a vstupu nových kol.
- 3) Ovládací panely se stop tlačítky.
- 4) Výstražné majáky, indikující chod/seřizování/vypnutí manipulačního robotu, umístěné na sloupcích hrazení.
- 5) Přenosné dálkové ovládání robotu při seřizování.
- 6) Sníženou rychlost koncového efektoru v režimu seřizování.

Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů jsou předmětem norem: ČSN EN ISO 10218-1:2011 a ČSN EN ISO 10218-2:2011 – Roboty a robotická zařízení.

8. Závěr

V diplomové práci, jejímž cílem bylo zpracovat řešení robotizovaného pracoviště montáže dvojkolí s návrhem koncového efektoru pro manipulaci s železničními koly, jsem navrhl 3 varianty řešení pracoviště. Pomocí multikriteriálního hodnocení variant jsem vybral a následně rozpracoval jednu z navržených variant.

Řešená varianta splňuje požadavky, které byly specifikovány v požadavkovém listu. Robotizované pracoviště je integrováno do stávajících dispozic výrobní haly, nová kola jsou odebírána z přepravní palety, otáčena do polohy pro nasunutí na nápravu koncovým efektem tvarovými čelistmi nepoškozujících jízdní profil. Tento způsob upnutí zabezpečuje automatické vystředění kola v efektoru a současně bezpečné upnutí kola při přerušení dodávky elektrického proudu. Robotizací pracoviště bude dosaženo zdvojnásobení kapacity montáže dvojkolí při současné úspoře počtu zaměstnanců oproti současné montáži. Robotizovaná montáž dvojkolí spolu s dalšími prvky zvyšuje úroveň bezpečnosti práce. Vypočítaná návratnost investice je 2,5 roku.

Dispoziční řešení specifikuje použité komponenty a jejich rozmístění umožňující plynulý materiálový tok a sled operací kontroly a montáže dvojkolí.

Realizace řešené varianty požaduje značnou finanční investici, ale technicko ekonomické zhodnocení řešené varianty dokládá návratnost a tím potvrzuje výhody při zavádění robotizovaných pracovišť v praxi.

Rozhodujícím faktorem pro realizaci pracoviště tak zůstává velikost objemu zakázek pro renovaci železničních dvojkolí.

Seznam použité literatury:

- [1] BURKOVIC, Jan. *Navrhování RTP*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, Strojní fakulta, 2002, 112 s. ISBN 80-248-0217-1.
- [2] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007, 1 CD-R. ISBN 978-80-248-1522-0.
- [3] ŘEZNÍČEK, Jan a Jitka ŘEZNÍČKOVÁ. *Pružnost a pevnost v technické praxi: příklady I*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005, 65 s. ISBN 80-010-3209-4.
- [4] ŘASA, Jaroslav a Josef ŠVERCL. *Strojnické tabulky: pro školu a praxi*. 1. vyd. Praha: Scientia, 2004, 753 s. ISBN 80-718-3312-6.
- [5] DRASTÍK, František. *Technické kreslení podle mezinárodních norem*. Ostrava: Montanex, 1994. ISBN 80-7225-013-2.
- [6] KOPEC, Bernard. *Nedestruktivní zkoušení materiálů a konstrukcí: (Nauka o materiálu IV)*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008, 571 s. ISBN 978-80-7204-591-4.
- [7] *Organizace a řízení* [online]. [cit. 2013-01-19]. Dostupné z: http://www.345.vsb.cz/KE%20vyuka/skripta%20Oa%C5%98_cv%20I.pdf
- [8] *How it's made* [online]. [cit. 2012-11-16]. Dostupné z: <http://www.youtube.com/watch?v=J4TPbGBPWME>
- [9] Gudel.cz. [online]. [cit. 2012-10-28]. Dostupné z: <http://www.gudel.com/cz/>
- [10] Motoman.cz. [online]. [cit. 2012-10-28]. Dostupné z: <http://www.motoman.cz/>
- [11] Raveo.cz. [online]. [cit. 2012-10-28]. Dostupné z: <http://www.raveo.cz/>
- [12] Shop normy.biz. [online]. [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://shop.normy.biz/detail/89961>

Seznam výkresů:

Příloha č.1	KOR346-DP-DR	Dispoziční řešení
Příloha č.2	KOR346-DP-RTP	Robotizované pracoviště
Příloha č.3	KOR346-DP-EF	Efektor koncový
Příloha č.4	KOR346-DP-N	Náprava
Příloha č.5	455.9.111.100.10	Dvojkolí Ø920

Přílohy:

Příloha č.6	DP v elektronické podobě na CD (Word, AutoCAD, PDF)
Příloha č.7	Katalogový list 3-osého modulu ZP-7 firmy Güdel
Příloha č.8	Katalogový list 2-osého modulu FP-6 firmy Güdel
Příloha č.9	Katalogový list lineárního modulu TSL-1000 firmy Motoman
Příloha č.10	Katalogový list lineárního modulu TSL-2000 firmy Motoman

Použitý software:

Autodesk Inventor 2013	Parametrické modelování, výpočet v modulu MKP
Autodesk AutoCAD 2013	Výkresová dokumentace